

# **T H E S E S**

présentées  
à la Faculté des Sciences de l'Université de Montpellier  
pour obtenir  
le grade de DOCTEUR ès Sciences Naturelles  
par

Pierre ALAUSE

Médecin du Service de Santé des Troupes de Marine

1<sup>ère</sup> THESE :

***Contribution***

**à I'ÉCOLOGIE des PLANAIREs**  
**d'eaux courantes :**

- Observations en Languedoc Méditerranéen.**
- Le facteur Acidité Carbonique.**

2<sup>ème</sup> THESE : ***Propositions données par la Faculté***

TOME II : PLANCHES ET ANNEXES

Soutenues le 28 Mars 1968 devant la Commission d'Examen.

M<sup>le</sup> O. TUZET,

Président

M. Ch. BENEZECH,

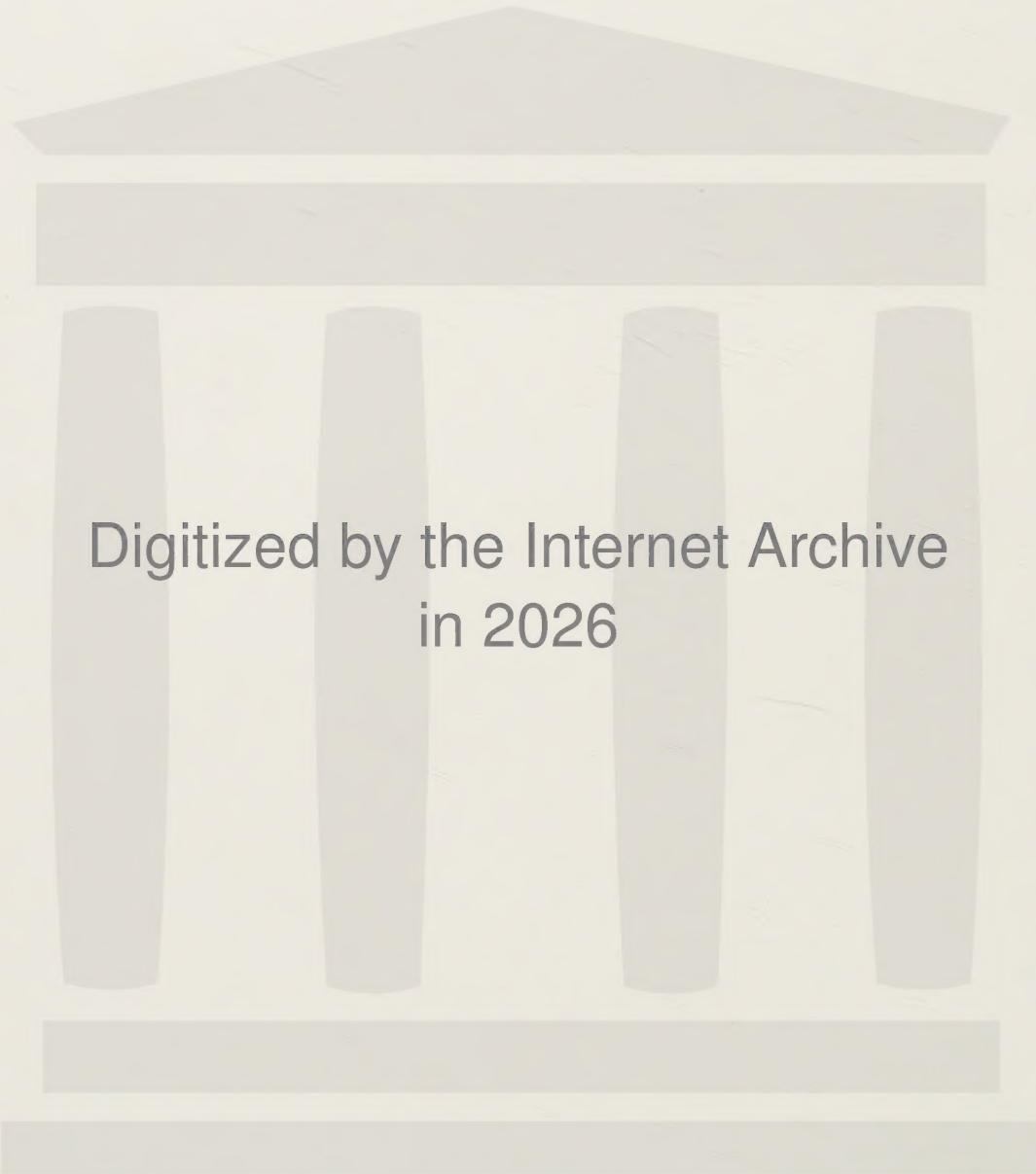
M. H. HARANT,

M. R. LEGENDRE,

} Examineurs







Digitized by the Internet Archive  
in 2026

[https://archive.org/details/IA41551917\\_0025](https://archive.org/details/IA41551917_0025)

# ***T H E S E S***

présentées  
à la Faculté des Sciences de l'Université de Montpellier  
pour obtenir  
le grade de DOCTEUR ès Sciences Naturelles  
par

Pierre ALAUSE

Médecin du Service de Santé des Troupes de Marine

1<sup>ère</sup> THESE :

***Contribution***

***à l'ÉCOLOGIE des PLANAIREES***  
***d'eaux courantes :***

- Observations en Languedoc Méditerranéen .***
- Le facteur Acidité Carbonique .***

2<sup>ème</sup> THESE : ***Propositions données par la Faculté***

TOME II : PLANCHES ET ANNEXES

Soutenues le 28 Mars 1968 devant la Commission d'Examen.

Mle O. TUZET,

Président

M. Ch. BENEZECH,

M. H. HARANT,

M. R. LEGENDRE,

}  
Examineurs



CONTRIBUTION A L'ECOLOGIE  
DES PLANAÏRES D'EAUX COURANTES :

- Observations en LANGUEDOC méditerranéen.
- Le facteur ACIDITE CARBONIQUE.

\*

T O M E   I I : PLANCHES et ANNEXES

\*

Sommaire en Anglais, p. 137 .



Contribution à l'Ecologie des Planaires d'eaux courantes :  
observations en Languedoc méditerranéen - le facteur Acidité Carbonique.

T A B L E des M A T I E R E S

Tome II : PLANCHES et ANNEXES

|    |    | <u>FIGURES et TABLEAUX</u>                                                                                                             | P. |
|----|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| f. | 1  | - Zone d'observation en Languedoc méditerranéen.                                                                                       | 3  |
| f. | 2  | - Variation climatique à partir des sources, et distribution des Planaires.                                                            | 5  |
| f. | 3  | - Carte géologique et hydro-géologique des bassins de l'Hérault et du Vidourle.                                                        | 7  |
| t. | 4  | - Variation hydrochimique de la Vis-Buèges dans leurs parcours hypogée (prouvé et supposé).                                            | 9  |
| f. | 5  | - Distribution des Planaires dans un cours hydro-géologique : la Vis-Buèges.                                                           | 11 |
| f. | 6  | - Diagrammes climatiques des biotopes et activité biologique de différentes Planaires dans différentes rivières, aux diverses saisons. | 13 |
| f. | 7  | - Diagramme climatique du biotope de <u>D. gonocephala</u> et activité biologique en fonction de la température.                       | 15 |
| f. | 8  | - Courant et flore aquatique.                                                                                                          | 17 |
| f. | 9  | a. - ... Courbe expérimentale $\log/\text{CO}_2/\text{pH}$ et                                                                          |    |
| f. |    | b. ... détermination graphique de $\text{CO}_2/$ .                                                                                     | 19 |
| f. | 10 | - Appareillage pour la détermination de $\text{CO}_2/$ .                                                                               | 21 |
| f. | 11 | a. - ... Gradient carbonique expérimental.                                                                                             | 23 |
| f. |    | b. ... Chlorose saisonnière ( <u>Eucalyptus globulus</u> ).                                                                            |    |
| f. | 12 | a. - Gradient carbonique de la Buèges : ... saison froide.                                                                             |    |
| f. |    | b. " " " " " : ... saison chaude.                                                                                                      | 25 |

b.

|    |    |    |                                                                                          |    |
|----|----|----|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| f. | 13 |    | - Gradient carbonique du Verdus.                                                         | 27 |
| f. | 14 |    | - Gradient carbonique du Lez.                                                            | 29 |
| f. | 15 |    | - Crue de la Buèges.                                                                     | 31 |
| f. | 16 |    | - Aval de l'Hérault et Sources riveraines.                                               | 33 |
|    | 17 |    | - Influence des terrains traversés<br>sur la composition initiale du G. C. :             |    |
| t. |    | a. | ... sources secondaires du Lez et de la Buèges.                                          | 35 |
| t. |    | b. | ... Verdus : perte et résurgence.                                                        |    |
|    | 18 |    | - Microgradient carbonique de la station IV de la Buèges:                                |    |
| f. |    | a. | ... schéma des lieux.                                                                    | 37 |
| t. |    | b. | ... biocoenose et hydrologie 61.                                                         |    |
| f. | 19 |    | - Galets-témoins du gradient carbonique.                                                 | 39 |
| t. | 20 |    | - Coïncidences dans les eaux courantes<br>entre le milieu hydrologique et la biocoenose. | 41 |
|    | 21 |    | - Microbiotope de la station III de la Buèges :                                          |    |
| f. |    | a. | ... schéma des lieux.                                                                    | 43 |
| t. |    | b. | ... hydrologie 61-62.                                                                    |    |
|    | 22 |    | - Microbiotope de la station : "Deux-Ponts" de la Vis :                                  |    |
| f. |    | a. | ... schéma des lieux.                                                                    | 45 |
| t. |    | b. | ... biocoenose et hydrologie 61.                                                         |    |
|    | 23 |    | - Microbiotope de la station IV de l'Hérault :                                           |    |
| f. |    | a. | ... schéma des lieux.                                                                    | 47 |
| t. |    | b. | ... biocoenose et hydrologie 61.                                                         |    |
| t. |    | c. | ... hydrologie du rapide (résurgence).                                                   |    |
| f. | 24 |    | - Dispositif expérimental pour l'étude du Tropisme.                                      | 49 |
| t. | 25 | a. | - Tropisme dans le G.C. : ... expérimentation <u>23.11.63</u>                            | 51 |
| t. |    | b. | ... " <u>30.09.63</u>                                                                    | 53 |
| t. |    | c. | ... " <u>19.11.63</u>                                                                    | 55 |
|    | 26 |    | - Comportement sensitivo-moteur dans le G. C. :<br>(exp. <u>10.09.63</u> )               |    |
| t. |    | a. | ... excitabilité -activité.                                                              |    |
| t. |    | b. | ... plafonnement (géotaxie négative).                                                    | 57 |

|    |    |    |                                                           |    |
|----|----|----|-----------------------------------------------------------|----|
|    | 27 |    | - Métabolisme dans le G. C. :                             |    |
| t. |    | a. | ... expérience <u>24.08.62</u>                            | 60 |
| t. |    | b. | ... expérience <u>25.10.63</u>                            | 59 |
| t. | 28 |    | - Mortalité dans le G. C. (exp. <u>12.09.62</u> )         | 61 |
|    | 29 |    | - Dégressivité de la Microflore dans le G. C. :           |    |
| f. |    | a. | ... expérience <u>09.09.63</u> : <u>Phormidium sp.</u>    |    |
| f. |    | b. | ... expérience <u>01.06.63</u> : <u>Aneura pinguis L.</u> | 63 |

|      |  | <u>ANNEXES</u><br>=====                                                                                                   | p.  |
|------|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| I    |  | - Dosage du CO <sub>2</sub> libre dissous<br>par acidimétrie en retour (abrégé).                                          | 67  |
| II   |  | - Résultats comparés de différentes méthodes<br>de détermination du CO <sub>2</sub> libre.                                | 69  |
| III  |  | - Variation du pH et des droites étalons<br>en fonction de la température.                                                | 73  |
| IV   |  | - Eaux de très faible salinité.                                                                                           | 75  |
| V    |  | - Variation de /CO <sub>2</sub> / dans une eau "incrustante"<br>au cours du stockage.                                     | 77  |
| VI   |  | - Relation entre TAC, dpH et /CO <sub>2</sub> / ;<br>signification du dpH.                                                | 79  |
| VII  |  | - Summary : acidmetric and graphic method<br>for the determination of CO <sub>2</sub> .                                   | 83  |
| VIII |  | - Relation entre les conditions météorologiques<br>et le CO <sub>2</sub> des eaux à l'émergence.                          | 87  |
| IX   |  | - L'équilibre CO <sub>2</sub> - CO <sub>3</sub> Ca (d'après Franquin et<br>Marécaux).                                     | 93  |
| X    |  | - Solubilité du Fer dans les eaux naturelles<br>(d'après Schoeller).                                                      | 99  |
| XI   |  | - Nomenclature et identification des Stations-<br>témoins dans les quatre cours d'eaux : Buèges,<br>Hérault, Lez, Verdus. | 105 |

d.

|       |                                                                                                                                                                                  |             |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| XII   | - Le micro G. C. de la station VI de la Buèges (journal).                                                                                                                        | P. r<br>111 |
| XIII  | - Activité et plafonnement des Planaires dans le G. C. :<br>a/ extraits du journal d'expérimentation <u>10.09.63</u><br>b/ extraits du journal d'expérimentation <u>14.12.62</u> | 117<br>123  |
| XIV   | - Différenciation dans le G. C. de la maturation génitale (contrôle histologique de l'élevage <u>12.12.62</u> ).                                                                 | 125         |
| XV    | - Différences de comportement alimentaire en élevage (exp. <u>10.09.63</u> ).                                                                                                    | 131         |
| XVI   | - Index récapitulatif des expériences citées.                                                                                                                                    | 133         |
| XVII  | - Sommaire en Anglais.                                                                                                                                                           | 137         |
| XVIII | - Bibliographie : auteurs cités et consultés.                                                                                                                                    | 145         |

FIGURES et TABLEAUX Annexes

N°

|    |     |    |                                                                                                        |     |
|----|-----|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| t. | I   |    | - Résultats comparés de plusieurs méthodes pour la détermination de $/CO_2/$ .                         | 165 |
| t. | II  | a. | - ... Relation entre température et pH pour une eau naturelle.                                         | 167 |
| t. |     | b. | - ... Variation des droites étalons selon la température.                                              |     |
| t. | III |    | - Influence des faibles salinités (essais du <u>2-3.10.63</u> ).                                       | 169 |
| t. | IV  |    | - Variation de $/CO_2/$ au cours du stockage d'une eau incrustante.                                    |     |
| t. | V   |    | - Relations entre le TAC, le dpH et $/CO_2/$ .                                                         |     |
| f. | VI  |    | - Relation entre $/\Sigma CO_2/$ d'une source à l'émergence et le climat de son bassin d'alimentation. | 171 |
| f. | VII | a. | - ... Diagramme de Franquin et Marécaux.                                                               |     |
| f. |     | b. | - ... Variation d'une eau naturelle.                                                                   | 173 |

|    |      |    |                                                                                                               |     |
|----|------|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| f. | VIII | a. | - Diagrammes de Schoeller :<br>... teneurs en $\langle \text{Fe}^{++} \rangle$ suivant l'alcalinité et le pH. | 175 |
| f. |      | b. | ... teneurs en $\langle \text{Fe}^{++} \rangle$ selon le potentiel redox et le pH.                            |     |
| f. | IX   | a. | - Stations de l'Hérault : ... cartographie.                                                                   | 177 |
| t. |      | b. | ... Planaires et Hydrologie.                                                                                  |     |
| f. | X    |    | - Stations VI de la Buèges : hiver-été 61 (graphique).                                                        | 179 |



PLANCHES ET TABLEAUX

---

---



Figure 1 : Zone d'observation en Languedoc méditerranéen

- Le triangle Mont Lozère - Montagne Noire - Montpellier inclut la région d'observation extensive, la partie encadrée au contraire que l'on retrouve agrandie in Fig. 3 correspond à une observation plus approfondie et intensive.
- Au point de vue climatique la ligne de partage des eaux départage aussi grosso modo les influences atlantiques plus boréales de celles méditerranéennes et sub-tropicales ; ainsi les reliefs conjuguent à la fois les effets propres de l'altitude sur la température et ceux découlant de cette situation frontalière entre deux aires climatiques très différentes. En 60 km, 4 500 pieds de dénivelé font varier le climat du point de vue thermique autant que l'écart de latitude entre Nancy et Montpellier.
- Du point de vue physique, géologique et hydrologique... trois gradins, d'altitude et de nature stratigraphique bien distinctes, acheminent du plateau central à la dépression méditerranéenne. Très schématiquement :
  - 1) Un gradin supérieur montagneux, voisin de 1 000 m : croupes primaires rajeunies, cristallines et schisteuses, du croissant cévenol sensu lato, lequel sert de point d'appel et de réserve pour les précipitations atmosphériques ("château d'eau" de l'Aigoual).

En bref : pauvreté en calcaire et accumulation hydrologique.

- 2) Un gradin intermédiaire culminant au-dessus de 250 m : plateau tabulaire entaillé ou glacié fracturé des causses secondaires grands et petits - Zone de transit hydrologique mouvementé tant épigée qu'hypogée.

En bref : calcaire presque exclusif et eaux courantes, tout autant souterraines que de surface.

- 3) Gradin inférieur de la plaine littorale : alluvions et sédiments tertio-quaternaires, à équivalence de calcaire et d'argile. Rivières somnolentes et sans histoire.

En bref : groies et eaux dormantes.

- Du point de vue écologique (pour les Planaires d'eaux courantes) :

- 1) Vu de très haut : P. felina domine en Montagne, D. gonocephala dans les avant-monts et D. subtantaculata avec D. tigrina dans la plaine. L'altitude commande au climat, et le climat à la distribution, mais ...

- 2) Vu de moins haut, la même série d'espèces s'échelonne à partir de chaque source : les températures moyennes de la saison chaude ne manifestent-elles pas semblable progression de l'air des sommets à celui de la plaine, et des sources aux eaux d'aval ? A mêmes causes, mêmes effets.

Les séries faunistiques "miniatures" observées dans les divers cours d'eau porteront simplement la griffe des conditions macro-climatiques ambiantes en rapport avec l'altitude : la Planaire qui leur est le mieux adaptée sera aussi favorisée en nombre et en extension, et inversement pour celle qui les abhorre - Parce que le climat extérieur gauchit à son image la variation climatique de l'eau depuis sa source, il gauchit aussi les séries faunistiques (amputées côté aval en montagne, décapitées en plaine).

# VERSANT MÉDITERRANÉEN DES CÉVENNES

Echelle  
0 5 10 15 20 km.



Fig. 1

(Figure 1)

Figure 2 : Variation climatique à partir des sources et distribution  
des Planaires (espèces et modes de reproduction)

Pour les trois rivières : Buèges, Lez et Verdus, nous avons mis en parallèle :

... d'une part l'extension dans l'espace des biotopes de leurs quatre Planaires d'eaux courantes ; deux étant SEXUEES : Polycelis felina (P.F.) et Dugesia gonocephala (D.G.), et deux ASEXUEES : Dugesia tigrina et Dugesia subtentaculata qui cohabitent (D.S. + T.). Les zones de peuplement intensif ont été noircies (différemment pour chaque espèce), celles de peuplement plus lacunaire et raréfié, extensif, étant laissées en blanc.

... d'autre part la variation climatique depuis la source, figurée par les gradients thermiques les plus extrêmes d'Hiver et d'Eté relevés en trois ans d'observation.

\*

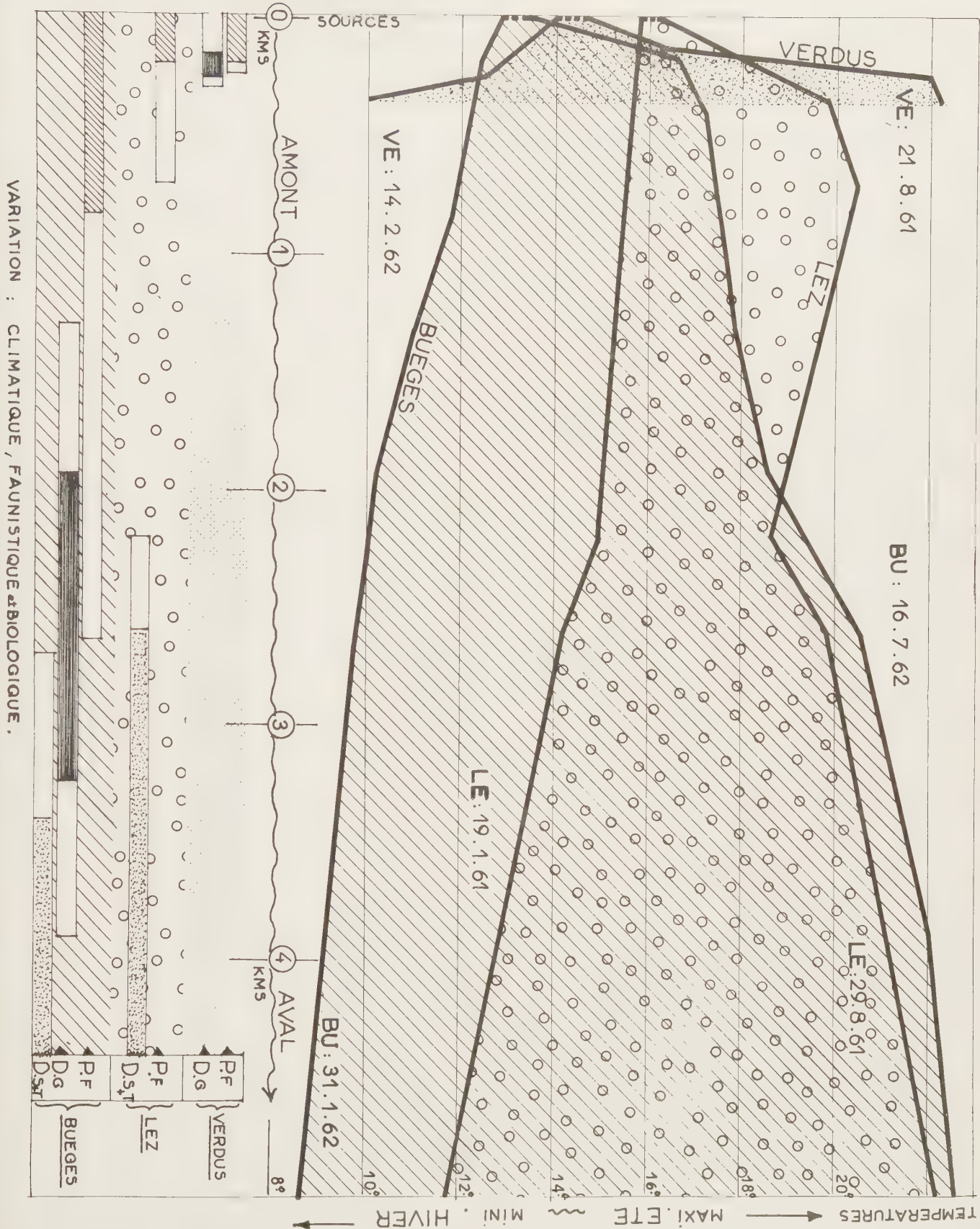
- Un tel graphique, de conception classique, objective les notions mêmes de sténothermie et d'eurythermie, avec ce qui leur correspond (?) des points de vue faunistique et biologique (modes de reproduction) - mais coïncidence ne signifie pas pour autant relation de cause à effet ... !

- Par contre on ne peut pas, ou mal, comparer rigoureusement entre elles les conditions thermiques vécues par une même espèce (ou un même mode de reproduction) dans des rivières différentes ; un artifice graphique apparaîtrait nécessaire qui rendra la chose possible (Fig. 6).

Nota : La dépression insolite, visible sur la courbe estivale du Lez, pourrait relever de deux causes conjointes :

- 1) un débit initial très faible en cette saison, aggravé encore par le prélèvement opéré pour la consommation urbaine, permet durant le premier kilomètre de rivière un réchauffement diurne accéléré,
- 2) par la suite, l'accumulation de l'eau entre les kilomètres 1 et 2 dans un corps devenu brusquement lent, profond et ombragé, doit réduire les écarts thermiques durant les heures chaudes (d'où le refroidissement apparent) ; l'afflux d'une source secondaire de température inférieure contribue peut-être aussi à cette inversion momentanée de la progression thermique.

# - PLANAIRES et VARIATION THERMIQUE



VARIATION : CLIMATIQUE, FAUNISTIQUE et BIOLOGIQUE.

Fig. 2

Figure 3 : Carte géologique et hydro-géologique

(d'après DUBOIS P., 1964 - Dessin de J. COUDERC)

Géologie : Golfe des Causses (Larzac),

... flanqué de ses deux bastions paléozoïques : Cévennes au N.E. (Ganges, Le Vigan), Montagne noire sensu lato au S.O. (Lodève, Clermont l'Hérault),

... ouvert au S.E. sur la dépression méditerranéenne, avec son seuil (la Séranne) et son glacis de petits causses tailladé par un double réseau de failles :

- 1) axe St-Hippolyte - Monts de St-Guilhem,
- 2) axe Sauve-Quissac - La Mosson.

Hydrologie : "Chateau d'eau" de l'Aigoual au Nord, et ses deux grands

systèmes de distribution vers le Sud, fortement conditionnés chacun par l'un des deux réseaux : Système Vis-Buèges-Hérault et Système Vidourle-Lez-Mosson, que les failles drainent, collectent et dévient vers le S.O., à la faveur d'un dénivelé physique et tectonique que l'on peut résumer en quatre chiffres :

- 1) Aigoual culminant vers 1200-1500 m ;
- 2) Séranne et Larzac à 700-800 m ;
- 3) petits causses à 300 m ;
- 4) plaine tertiaire et récente enfin, d'altitude inférieure à 100 m.

Noter la lutte d'influence manifeste entre d'une part la pente qui entraîne vers l'Est Vis, Buèges et Vidourle Supérieur, et d'autre part les failles qui les dévient (et les drainent) vers le Sud.

---

Nota : La disposition des failles, figurée ici de façon simplifiée, apparaît quelque peu différente sur la carte géologique en couleur au 1/80.000. Il va de soi que dans nos raisonnements c'est de cette dernière que nous avons d'abord tenu compte, en même temps que de nos propres observations sur le terrain.

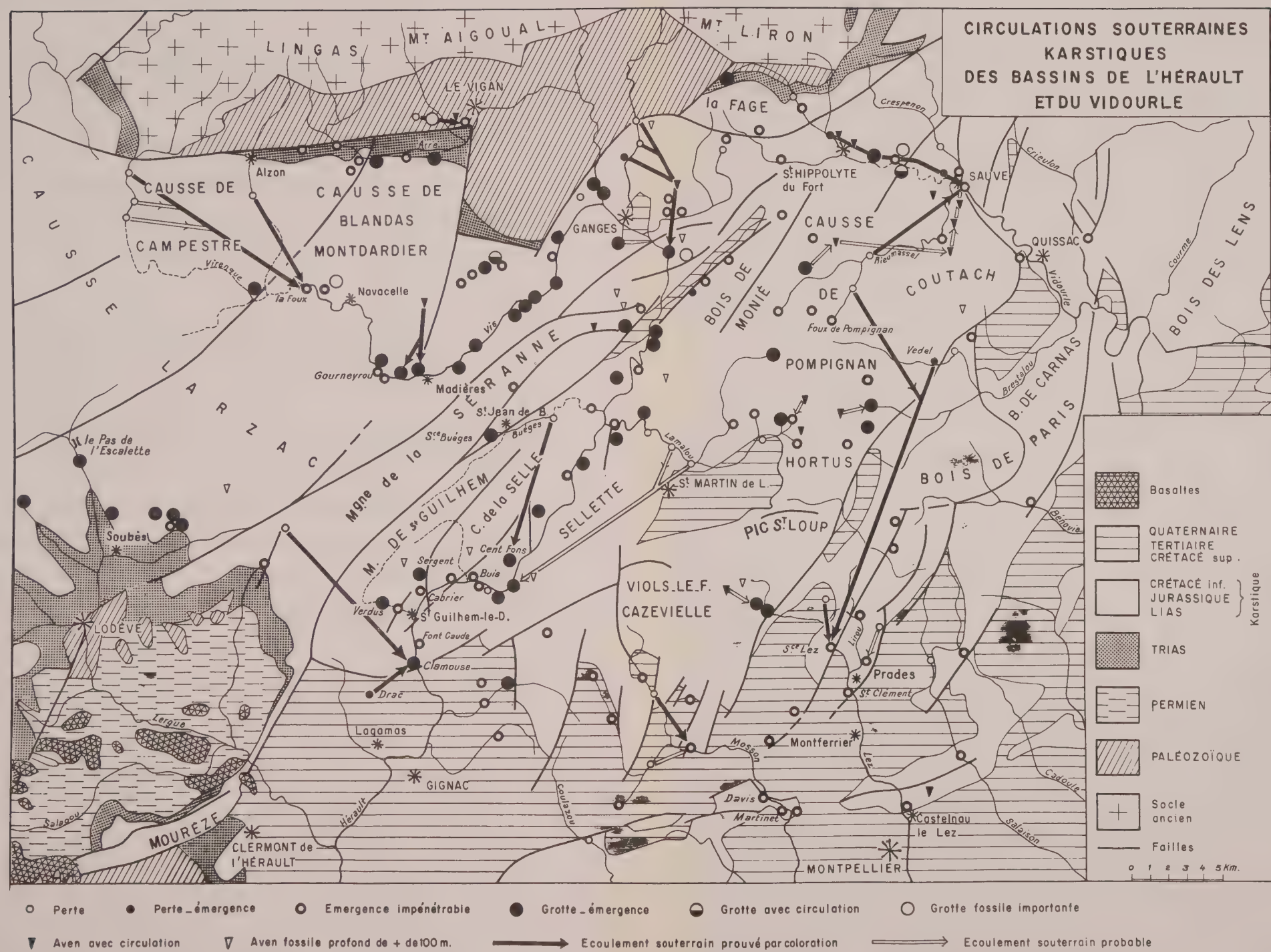


Fig. 3

Tableau 4 : Variation hydrochimique de la Vis - Buèges  
dans leur parcours hypogée (prouvé et supposé)

Bien qu'incomplet le tableau met en évidence :

- l'accroissement de salinité de 1 en 4, à chaque passage hypogée, portant à la fois sur le total (  $\rho_o$  ), et sur certains ions : TH et TAC principalement (c'est-à-dire  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $HCO_3^-$ ) mais aussi  $Na^+$  et  $Cl^-$ . (\*)
- la variation dans les proportions respectives des cations alcalins  $K^+$  et  $Na^+$  ; il en serait probablement de même pour les alcalino-terreux  $Ca^{++}$  et  $Mg^{++}$ . Variation en rapport avec la nature des terrains traversés (primaires en amont d'Alzon, secondaires ensuite), la solubilité différente des ions, la durée de contact ... etc.
- la différence de composition chimique moindre entre les eaux 2 et 3 de parenté hypothétique qu'entre les eaux 1 et 2 d'une part, 3 et 4 d'autre part, dont la filiation a été prouvée par traceurs mais que sépare un parcours hypogée plus long.

\*

(\*) Schoeller (1959), p. 72.

(légende de la Figure 5)

| STATIONS             |                              | 1 Vis<br>Alzon | 2 Vis<br>St Maurice | 3 Buèges<br>source | 4 Buèges<br>Cent fons |
|----------------------|------------------------------|----------------|---------------------|--------------------|-----------------------|
| HYDROCHIMIE          |                              | ←              | 3290                | 3020               | ←                     |
| ρ <sub>o</sub> (20°) |                              | 3820           | 2820                | 2560               | ←                     |
| Cations, mé/l        | K <sup>+</sup>               | ←<br>0,014     | 0,014<br>0,012      | 0,011<br>0,010     | 0,020<br>←            |
|                      | Na <sup>+</sup>              | ←<br>0,100     | 0,100<br>0,105      | 0,120<br>0,115     | 0,140<br>←            |
|                      | TH <sup>+</sup>              | ←<br>2,62      | ←<br>3,68           | ←<br>4,05          | 4,44<br>←             |
| Anions, mé/l         | TAC <sup>-</sup>             | ←<br>2,35      | 3,60<br>3,70        | 3,85<br>3,80       | 4,20<br>4,40          |
|                      | Cl <sup>-</sup>              | ←<br>0,24      | 0,27<br>0,26        | 0,25<br>0,30       | 0,36<br>←             |
|                      | SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> | ←<br>0,38      | 0,10<br>0,12        | 0,06<br>0,12       | 0,12<br>←             |

STATIONS

1. Vis à Alzon : 1 km en amont de sa perte  
- Relation hypogée prouvée avec...
2. Vis à St Maurice : en amont faille de Madières  
- Relation hypogée supposée avec...
3. Buèges : à sa source  
- Relation hypogée prouvée avec...
4. Cent Fons : Résurgence riveraine de l'Hérault.

\*  
N.B. : Le chiffre supérieur est du 14 avril 1961 ;  
l'inférieur du 9 juillet.

- 1) Le fait de considérer un cours d'eau dans sa continuité hydro-géologique, au-delà des apparences et discriminations géographiques, rend possible l'étude sous différents angles de la distribution des Planaires (espèces et sexualisation) dans un biotope unique. De par ses dimensions ce dernier accède à une zonalité climatérique fonction de l'altitude, et grâce à une série "d'intermèdes hypogées" il échappe en partie au cadre limité de la sténo-eurythermie (chacun de ces intermèdes en effet - en pointillé sur le graphique - efface toute périodicité thermique et rééquilibre la température de base du cours d'eau avec la moyenne correspondant à l'altitude).

- 2) La distribution "verticale", selon l'altitude, confirme les données classiques : espèces sexuées sur les reliefs et asexuées en plaine. La zonation climatique qui la double "en filigrane" suggère une relation entre l'étagement des Planaires et celui des climats (températures moyennes).

- 3) La distribution "horizontale", topographique, peut être envisagée d'un double point de vue : pour l'ensemble du cours hydro-géologique fait d'une succession de tronçons hydrographiques, ou pour chacun d'eux séparément.

SIMILITUDE évidente entre le "Tout" et les "Parties" (entre "l'original" et ses "miniatures" ?) : pour les séries faunistiques (Buèges supérieure en particulier) et, en été, pour les gradients thermiques. La progression climatique contemporaine du décours hydrogéologique justifie par l'infléchissement qu'elle apporte dans chaque tronçon au gradient thermique (estival) l'infléchissement en rapport observé dans les séries faunistiques successives : avantage près des sommets pour qui aime la fraîcheur, désavantage en plaine, et réciproquement.

- 4) Double coïncidence par conséquent de l'habitat et de l'habitant, dans et malgré des contextes très différents : on pense à une relation de cause à effet. Un gradient thermique serait la condition nécessaire et suffisante de toute sorte de distribution étagée ; au-delà (sténo-eurythermie) : rien que de superflu.

\*

Figure 5 : Distribution des Planaires dans un cours hydro-géologique (H.G.)

- 1) Le fait de considérer un cours d'eau dans sa continuité hydro-géologique, au-delà des apparences et discriminations géographiques, rend possible l'étude sous différents angles de la distribution des Planaires (espèces et sexualisation) dans un biotope unique. De par ses dimensions ce dernier accède à une zonalité climatérique fonction de l'altitude, et grâce à une série "d'intermèdes hypogées" il échappe en partie au cadre limité de la sténo-eurythermie (chacun de ces intermèdes en effet - en pointillé sur le graphique - efface toute périodicité thermique et rééquilibre la température de base du cours d'eau avec la moyenne correspondant à l'altitude).

- 2) La distribution "verticale", selon l'altitude, confirme les données classiques : espèces sexuées sur les reliefs et asexuées en plaine. La zonation climatique qui la double "en filigrane" suggère une relation entre l'étagement des Planaires et celui des climats (températures moyennes).

- 3) La distribution "horizontale", topographique, peut être envisagée d'un double point de vue : pour l'ensemble du cours hydro-géologique fait d'une succession de tronçons hydrographiques, ou pour chacun d'eux séparément.

SIMILITUDE évidente entre le "Tout" et les "Parties" (entre "l'original" et ses "miniatures" ?) : pour les séries faunistiques (Buèges supérieure en particulier) et, en été, pour les gradients thermiques. La progression climatique contemporaine du décours hydrogéologique justifie par l'infléchissement qu'elle apporte dans chaque tronçon au gradient thermique (estival) l'infléchissement en rapport observé dans les séries faunistiques successives : avantage près des sommets pour qui aime la fraîcheur, désavantage en plaine, et réciproquement.

- 4) Double coïncidence par conséquent de l'habitat et de l'habitant, dans et malgré des contextes très différents : on pense à une relation de cause à effet. Un gradient thermique serait la condition nécessaire et suffisante de toute sorte de distribution étagée ; au-delà (sténourythermie) : rien que de superflu.

\*

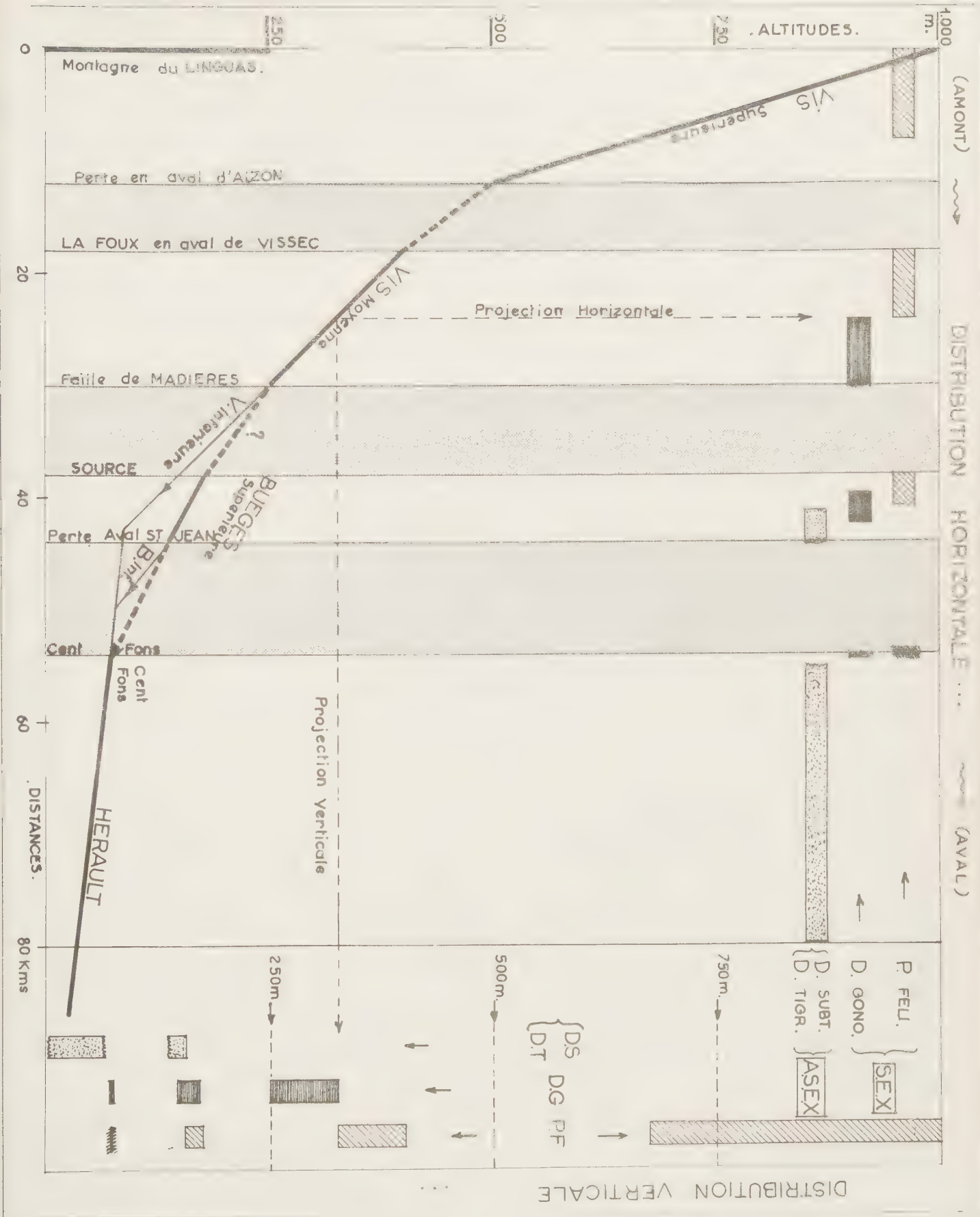


Fig. 5

Figure 6 : Diagrammes climatiques des biotopes  
et activité biologique de différentes Planaires,  
dans différentes rivières, aux diverses saisons. (cf. fig. 2)

POUR ... les deux saisons extrêmes, chaude et froide  
... les quatre espèces étudiées, échelonnées de l'amont  
vers l'aval dans les trois rivières : Buèges, Lez,  
Verdus.

ON COMPARE ... les diagrammes climatiques de leurs biotopes  
(en trait plein : peuplement intensif - en trait  
pointillé : peuplement extensif).

... l'activité biologique (nombre et reproduction)  
figurée par un nombre de croix représentatif.

ON CONSTATE ... la coïncidence des diagrammes pour la belle  
saison seulement, d'intense activité biologique ;  
... le contraste entre les saisons, croissant de  
l'amont vers l'aval, tant pour les conditions ther-  
miques que pour l'activité biologique.

ON CONCLUT à l'importance dominante de l'influence du niveau  
thermique moyen estival sur la DISTRIBUTION des  
espèces et leur BIOLOGIE, au contraire de celle de  
l'amplitude des oscillations de la température.

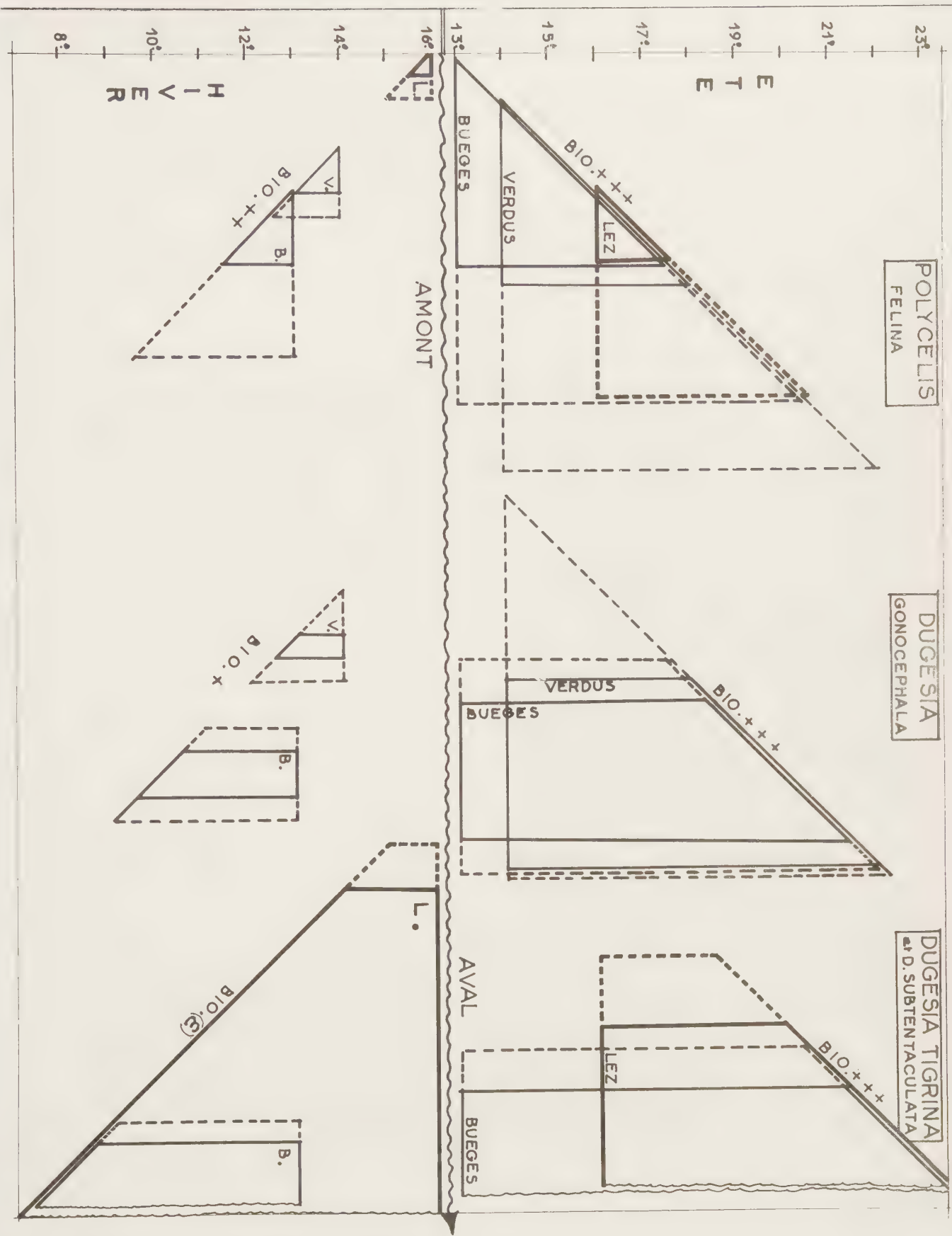


Fig. 6

Figure 7 : Diagramme climatique du biotope de D. gonocephala  
et activité biologique en fonction de la température.

L'échelle des températures étant placée verticalement, il lui correspond de bas en haut :

- 1) Une activité biologique quasi nulle ou un biotope en hibernation (survivance).
- 2) Une activité croissante, et la "marche-frontière amont" du biotope au peuplement extensif (climat "plancher" estival).
- 3) Pour les températures optima : activité biologique ou enzymatique maximum, et zone de peuplement intensif du biotope (climat optimum en saison chaude).
- 4) Régression rapide de l'activité et peuplement lacunaire dans l'espace et dans le temps, au voisinage des températures limitantes supérieures.
- 5) Températures létales, et "terra incognita" de l'espace.

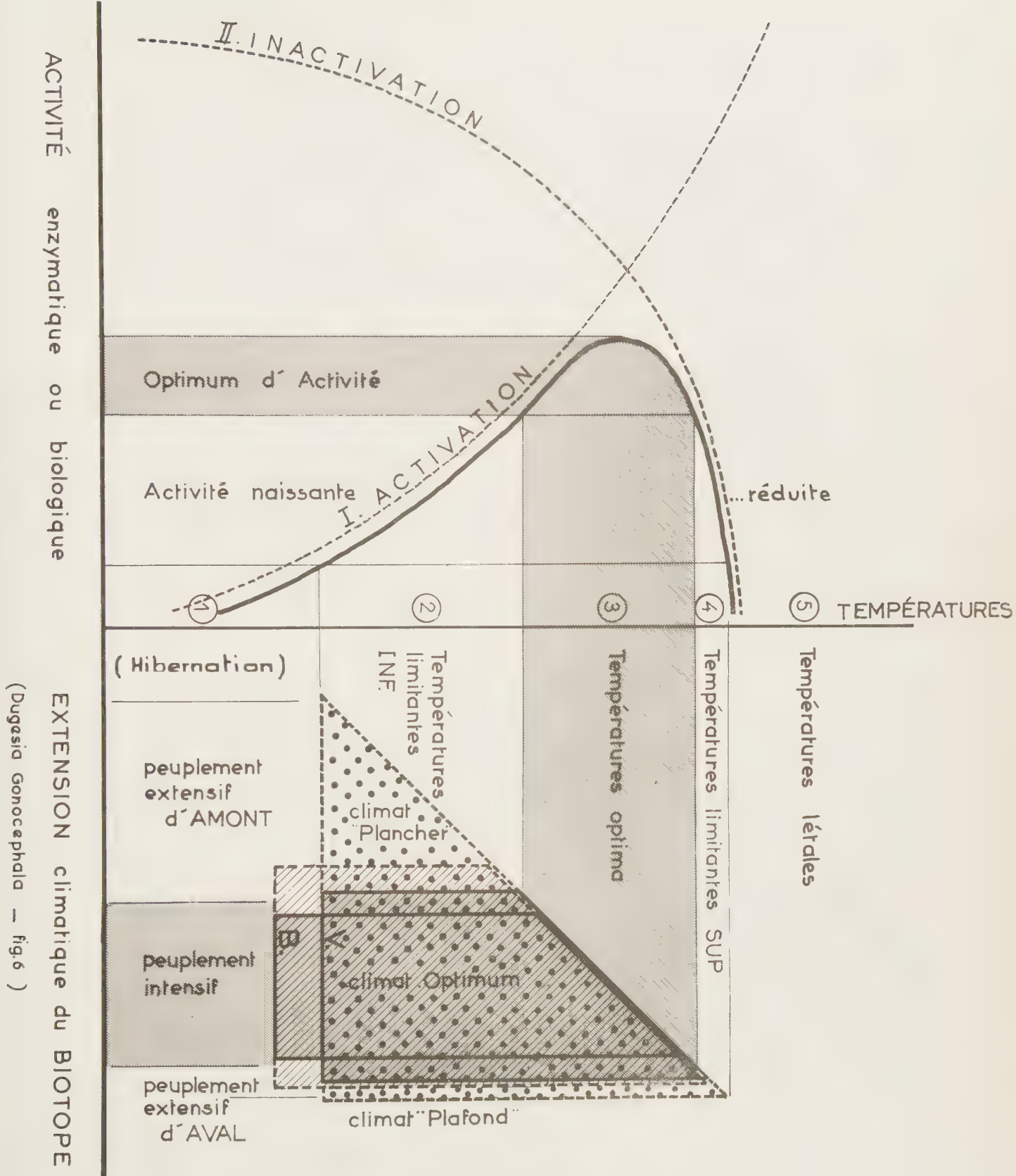


Fig. 7

Figure 9 : Courbe expérimentale  $\log/\text{CO}_2/ = f(\text{pH})$  :  
=====

- $/\text{CO}_2/$  exprimée en milliéquivalents d'acidité carbonique par litre ;  
1 mé = 22 mgr de  $\text{CO}_2$ .
- Etalon : TAC = 2,93 mé/l (de  $\text{CO}_3\text{Ca} + \text{CO}_3\text{H}_2$ ).
- Source I (bicarbonatée calco-magnésienne) : en septembre et octobre,  
T.A.C. = 4,55 mé/l ( $\text{dpH } 0,22 \pm 0,01$ ).
- Source II (la même, après d'abondantes pluies d'Automne, cause de dilution) : T.A.C. = 4,45 mé/l ( $\text{dpH } 0,18$ ).
- Brassage de 1 à 2 h, avec des apports de  $\text{CO}_2$  dans l'appareil compris entre 0 et 100 ml (pression et température ambiante).

\*

Détermination graphique de  $/\text{CO}_2/$  :  
=====

- 2 brassages pour construire la droite étalon (1 et 2).
- 1 brassage (3) pour mesure du  $\text{dpH}$  de l'eau étudiée, et tracé de sa courbe spécifique (opération distincte ou non de 1 et 2).
- mesure du  $\text{pH}$ , et détermination de  $/\text{CO}_2/$  correspondant, pour les différents prélèvements (4).

\*



Figure 10 : Appareillage pour détermination de  $\text{CO}_2$

- 1) Gazomètre : flacon de Wolf (W), placé dans une conserve. L'eau, surmontée d'huile de paraffine à l'intérieur de (W), objective le volume et la pression du gaz, et permet d'équilibrer celle-ci avec la pression atmosphérique. Un tube de caoutchouc (G) fermé par une pince de Mohr (M), sert au remplissage et au prélèvement du  $\text{CO}_2$  par ponction.

- 2) Flacon à prélèvement (P) : rempli (1), et vidé (2) dans le flacon de récolte (R). L'opérateur (O) commande la manoeuvre en ouvrant ou fermant le tube rigide (T), qui sert en même temps à maintenir le flacon au contact du fond de l'eau.

- 3) Chambre à électrométrie (détail du pHmètre) : remplie par pulsion (01) ou aspiration buccale (02) effectuée par l'opérateur manipulant la pince de Mohr (M). La fermeture de celle-ci maintient le liquide dans la chambre de mesure, axée par la double électrode concentrique (E).

- 4) Prélèvement de  $\text{CO}_2$  (détail du gazomètre)

- 5) Mélangeur : l'aérateur (A), complété par les diffuseurs (D), assure le brassage "à huis clos" des deux phases gazeuse et liquide, réalisant l'équilibration des températures et des  $\text{pCO}_2$ .

- 6) Étanchéité de la chambre (détail du mélangeur) : adductions du  $\text{CO}_2$  (G) et du courant électrique pour l'aérateur (V), rendues étanches par l'eau, et par des tubes de verre coinçant les tubes de caoutchouc. Plancher de contreplaqué épais (B) doublé de caoutchouc supportant le bord mouillé du cristalliseur (C).

- 7) Barbotage (détail du mélangeur) : la pince de Mohr à vis (M) répartit équitablement le courant d'air carbonique - diffuseur (D) : d'aquarium en aggloméré, ou petit entonnoir aveuglé par une lame de verre fritté. Bouchon plastique non jointif, simplement posé pour arrêter les projections de liquide. Circulation de gaz en circuit fermé.

\*

(légende de la figure 11)

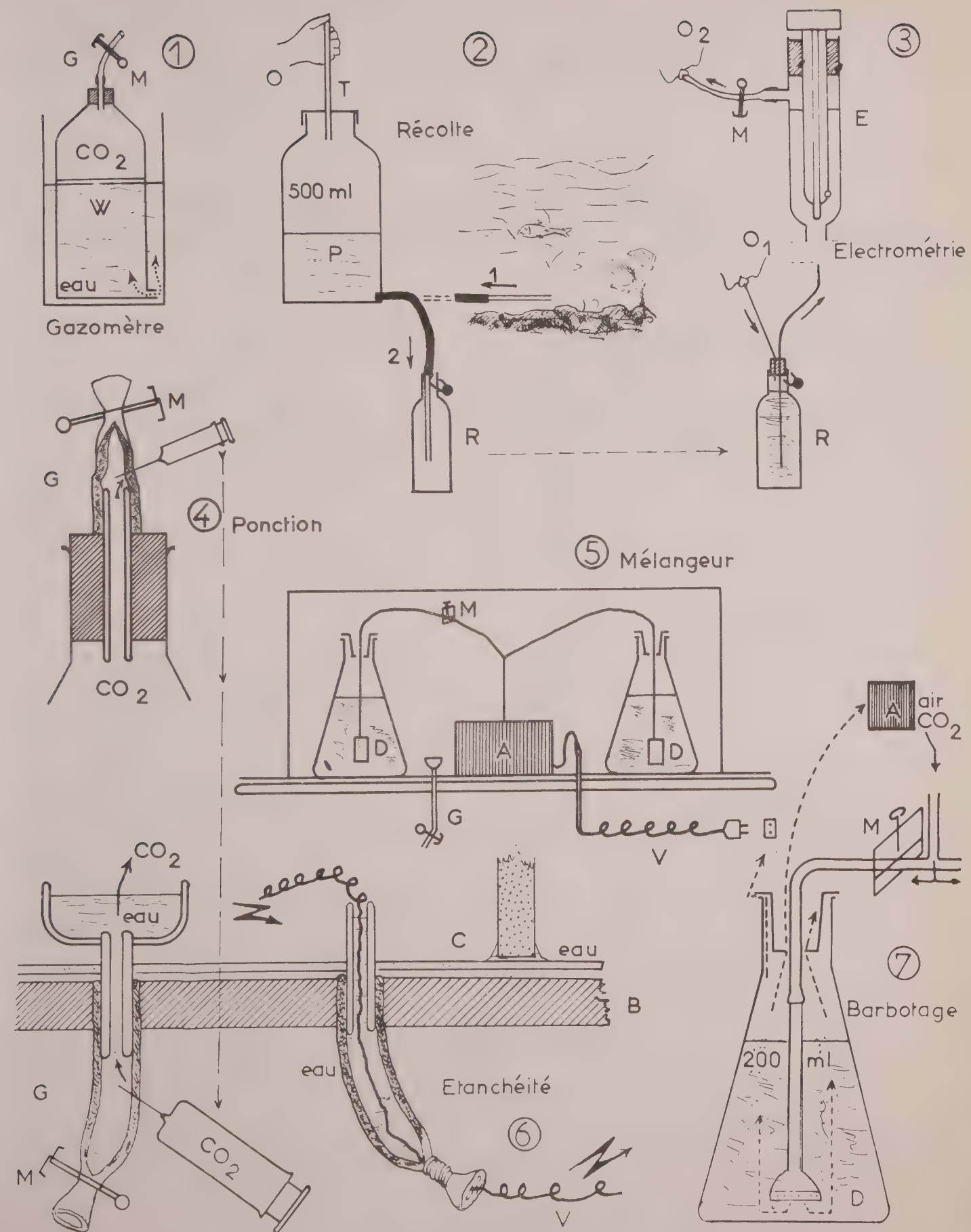


Fig. 10

Figure 11 :

- a) Gradient carbonique expérimental.

- Réserve d'eau, sous couvercle flottant (alimentation périodique) ; son isolation thermique apparaît souhaitable : craindre le réchauffement.

En cas d'alimentation permanente par canalisation, sert de bassin à décantation (prévoir un siphon de trop plein du type "évacuation").

- Débit réglé par pince de Mohr à vis. Placer la Réserve à une hauteur suffisante au-dessus des cristallisoirs alimentés, pour limiter la variation du débit selon le degré de remplissage de la réserve.

- Canalisations et siphons de communication - si l'on veut pratiquer l'élevage de Planaires : tous terminés par un petit entonnoir fermé par une grille en tissu du genre "bas nylon". Amorçage par aspiration à l'aide d'un tuyau coudé "en pipe".

- Agitation magnétique, permanente, par agitateur pour titrimétrie. Laisser un intervalle d'air libre entre le bloc moteur et le fond des cristallisoirs, pour éviter un éventuel échauffement du liquide.

- Couvercles flottants : au contact du liquide pour isoler de l'air ; les flotteurs sont à l'origine de contre-courants.

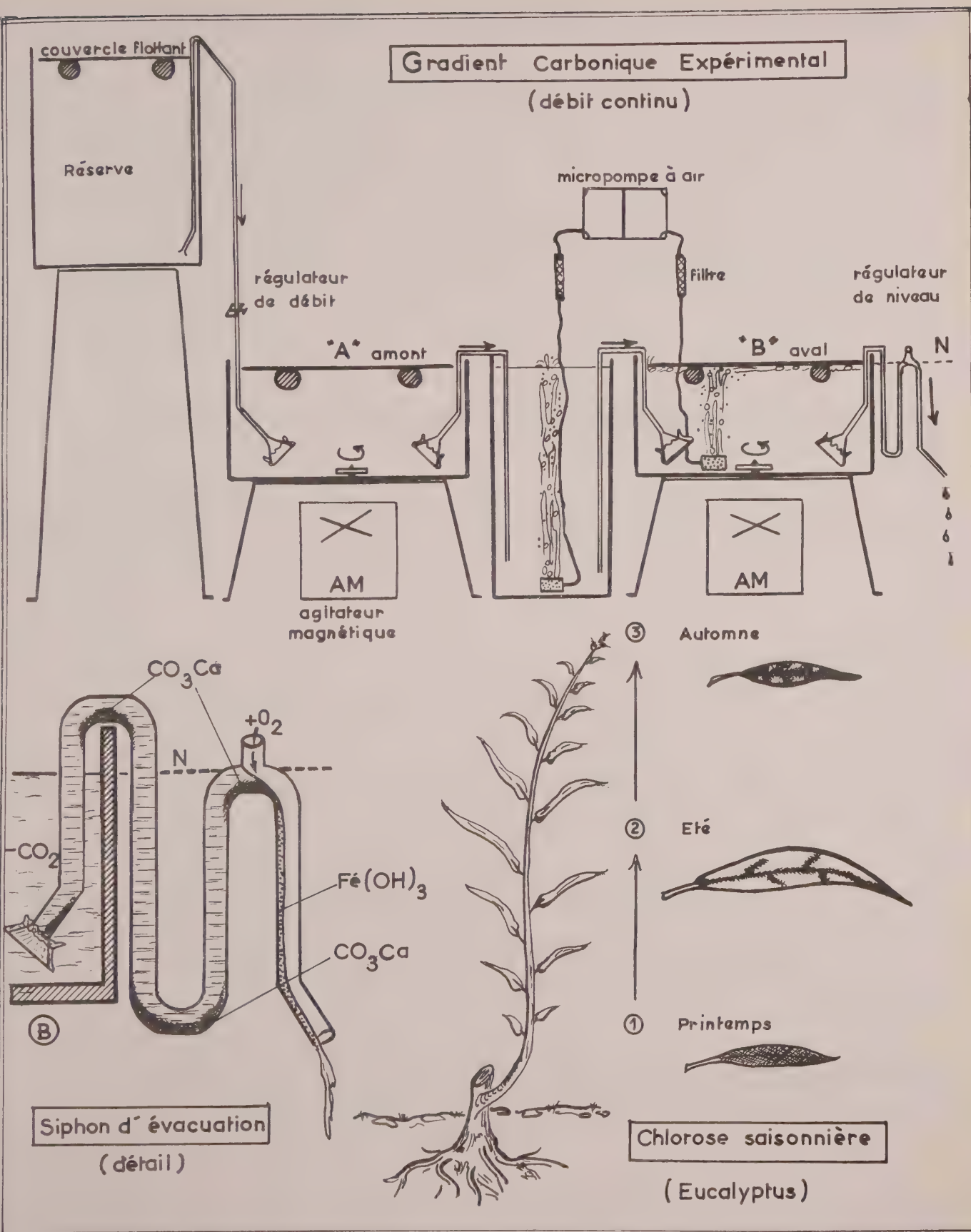
- Aération : par microaérateur d'aquarium, et diffuseurs ; filtration de l'air pulsé sur coton hydrophile (ou barbotage).

- Evacuation : par un siphon spécial dont la hauteur, réglable, détermine le niveau d'eau pour l'ensemble.

- Détail du siphon : dépôt de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  dans la totalité du siphon mais accentué "au plancher" ; dépôt de  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  dans la seule portion "aérée" du siphon, et indifféremment "au mur" et "au plancher".

- b) Chlorose saisonnière.

Sur un rejet d'Eucalyptus, issu d'un chicot arrasé : feuilles "des quatre saisons", et chlorose limbique estivale, démonstrative de l'incidence du facteur climatique.



(légende des figures 12,a-b)

Fig. 11

Figure 12 : Gradient carbonique de la BUEGES

- a) SAISON FROIDE

courbes - (12) hiver, du 28 déc. 61 (TAC plafond = 4,05) -

- (01) hiver, des 31 jan. 62 et 24 jan. 63 -

. le 31 (TAC plafond à 3,95) : légère précipitation donnant une courbe superposable à (12).

. le 24 (TAC plafond à 3,65) : courbe (01) pour  $\text{HCO}_3^-$ , sans précipitation, et température plus élevée comparable à la courbe (12).

- (03) printemps, du 17 mars 61 (TAC plafond = 4,10) :

. chaleur précoce et sécheresse très grande donnant une courbe de type "été" ; comparer avec la courbe (05).

- b) SAISON CHAUDE

courbes - (05) printemps, du 2 mai 62 (TAC plafond = 3,75) :

. période très pluvieuse et courbe de type "hiver".

- (07) été, du 16 jul. 62 (TAC plafond = 3,80).

- (09) été, du 6 sep. 61 (TAC plafond = 3,90) :

. sécheresse considérable.

cf. figure X (en annexe) : Synthèse hiver-été 61, et zonalité hydro-pédologique.

PAR CONVENTION GRAPHIQUE dans cette figure et les suivantes similaires : l'hiver, inhibant pour la biologie, est représenté par des courbes en trait fin (ou pointillé fin) - l'été, stimulant au contraire, par des courbes en trait épais (ou pointillé gros) - et les demi saisons, "tolérantes" et d'effets intermédiaires, par du trait épais interrompu.

- Les courbes de crue ou d'étiage de la fig. 15 ont été figurées d'après leur analogie avec celles des différentes saisons. Les hachures enfin servent à visualiser la variation saisonnière.

\*

Variation du G. C. dans l'espace : Exponentielle en amont de la station V, linéaire au-delà de VIII (saison froide).

- microaffluences en II<sub>b</sub>, III, IV, VI, peut-être IX et X(?); ruisseau de St Jean de Buèges au km 4 (saison chaude).

\*

Variation du G. C. dans le temps :

- 1) étiré vers l'aval en hiver (et en crue), contracté vers l'amont en été (et par la sécheresse).

- 2) continu et régulièrement dégressif en hiver ; tracé estival "ratatiné" et en "dents de scie".

Dialectique de la source-capitale et des affluences secondaires : selon le débit (03-05), et selon la température (01-05).

Résultantes estivales : (07) "plus chaud", et (09) "plus sec", etc...

\*

Variation écologique (?) : En amont milieu hydrochimique riche... et Planaires sexuées - Milieu pauvre en aval, et races asexuées...

\*



(figure 12,a-b)

Figure 13 : Gradient carbonique du Verdus

Courbes - (02) hiver : du 14 fev. 62 (TAC : 5,03) -  
- (03) printemps : du 27 mar. 61 -  
- (08) été : du 27 aut. 61 (TAC : 5,00) -

\*

Variation du G. C. dans l'espace : baisse de  $/\text{CO}_2/$  en amont, avec  $/\text{HCO}_3^-/$  constant et forte variation du pH ; baisse de  $/\text{HCO}_3^-/$  en aval, avec  $/\text{CO}_2/$  et pH peu variables.

- A 150 m de sa source (station III) le Verdus s'est subdivisé en un canal d'irrigation (C) et la suite du ruisseau (R). Débit relatif du canal : supérieur en été, inférieur en hiver à celui de (R) ; mais le ruisseau avec un profil physique plus incliné et accidenté que le canal (cascatelles, rapides), c'est-à-dire un brassage... et une diffusion plus intenses du  $\text{CO}_2$ , s'appauvrit toujours plus rapidement en  $\Sigma \text{CO}_2$  (même en hiver quand son débit est le plus grand). Comparer également les pertes respectives de III à III bis d'une part (chute de barrage de 0,80 m), de III à VIII d'autre part (70 m d'écoulement linéaire dans le canal).

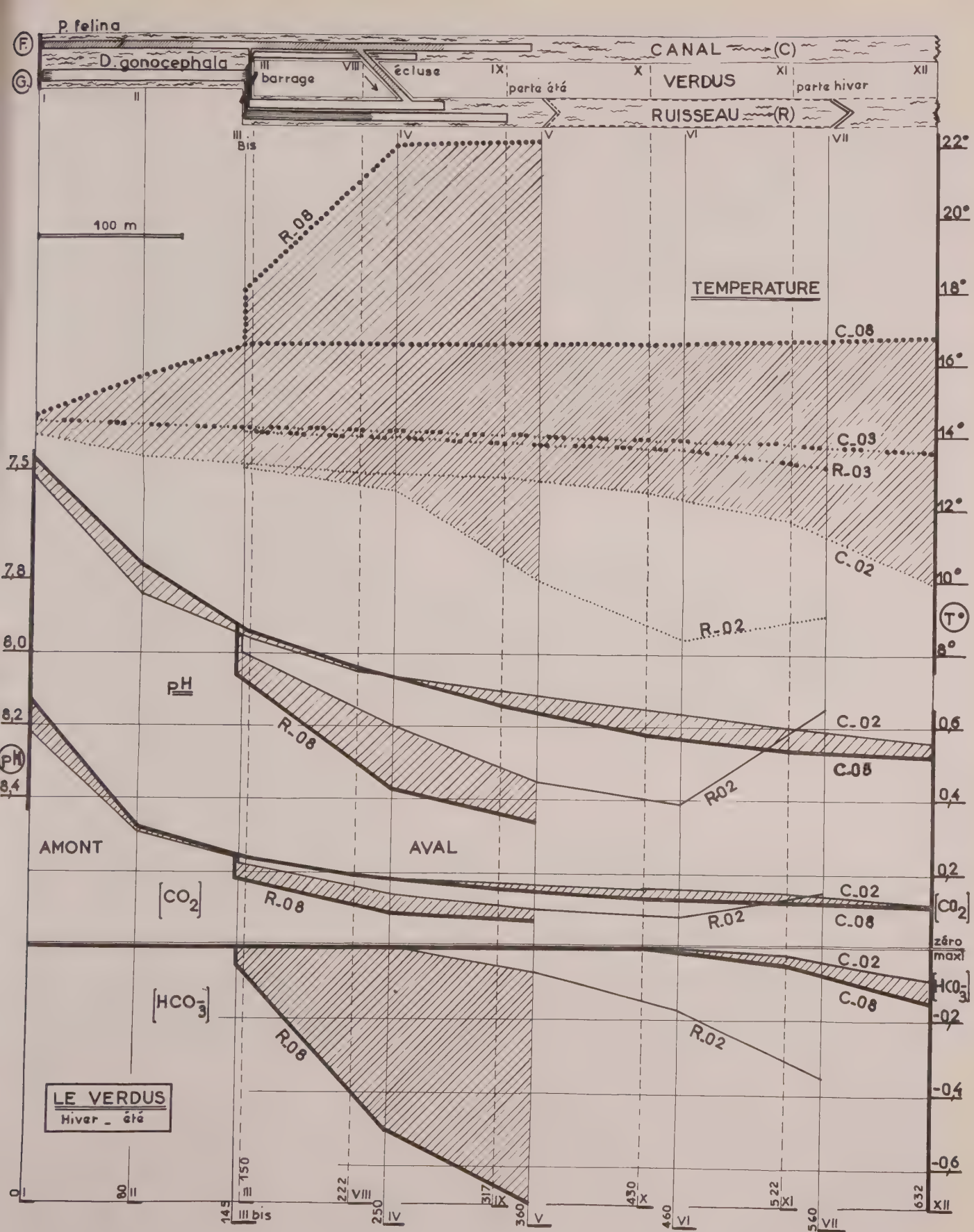
- Résurgence occulte de la station VII du ruisseau : une baisse insolite du pH en hiver dénonce l'affluence d'une eau hypogée : valeur signifiante.

\*

Variation saisonnière : appauvrissement plus rapide et plus profond l'été en  $\text{CO}_2$  et  $\text{HCO}_3^-$ , malgré une teneur initiale  $/\text{CO}_2/$  plus élevée : croisement des courbes été-hiver.

La perte du ruisseau rétrograde de VII en V par temps de sécheresse estivale, mais devient occulte lors des crues importantes : cours ininterrompu jusqu'à la résurgence d'aval sise un kilomètre plus loin (elle aussi devenant inapparente).

\*



(légende de la figure 14)

Fig. 13

(suite de la légende figure 13)

Gradient pédologique :

- roches agressives et polychromes (microflore épilithique) en I-II (/CO<sub>2</sub>/ élevé) et III-VIII (courant) ; équivalence de la "masse" et de "l'énergie" ? \*...

- roches lisses, "rouillées" et moins colorées, avec incrustation miliaire incipiens de tuf en III<sub>b</sub> et VIII-X.

- tuf envahissant le ruisseau en aval de V, mais plus discret dans le canal au-delà de X.

\*

\*

Figure 14 : Gradient carbonique du Lez

Courbes - (02) hiver, des 19 jan. 61 et 14 fev. 63 - (TAC : 5,20)

- (03) printemps, des 7 mar. 61 et 23 mar. 62 - (TAC : 5,60)

- (06) été, des 8/14 jun. et 29 aut. 61 - (TAC : 5,70)

(année de sécheresse ++)

\*

Variation du G. C. dans l'espace : aspects graphiques superposables à ceux du Verdus, malgré une échelle des distances dix fois moindre : deux phases, -d /CO<sub>2</sub>/ et -d /HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>/.

- le cours, assez rapide et de faible profondeur jusqu'en III, devient ensuite lent et calme sauf un rapide et des barrages en IV-V et au-delà de VIII : contraste de la faible diffusion du CO<sub>2</sub> dans les zones tranquilles III-IV et VI-VIII, et des chutes de  $\Sigma$  CO<sub>2</sub> connexes de celles ... de l'eau (cf. aussi courbe de température "été").

- affluence du Lirou au km 3 : elle contribue en hiver à élever pH et TAC.

\*

\* cf. 1-2-3-4 in fig. 19.

- 28 -

Variation dans le temps :

- assèchement du Lirou en été... et courbes du G. C. muettes.
- différences saisonnières calquées sur celles du Verdus,

mais cependant beaucoup plus considérables à cause du contraste entre les débits d'été et d'hiver ; alors que le canal du Verdus conserve son "égalité d'humeur" au long des saisons, le captage à la source du Lez pour satisfaire la consommation urbaine - augmentée - parachève en été l'oeuvre de frustration des éléments : le fleuve est devenu ruisseau.

- anomalies thermiques (?) en IV (été) et en IX (hiver). Peut-être avant IV le déversement du trop-plein d'un canal d'irrigation au cours constamment ombragé... Peut-être aussi l'inertie thermique, aux heures très chaudes de la journée où ont été pratiquées les mesures, d'une grande masse liquide immobile et ombragée en III-IV relativement au maigre courant d'échauffement rapide I-III et IV-VI. La courbe "hiver" inversée en VIII-IX nous est par contre totalement incompréhensible, qui fait figure d'ailleurs de phénomène isolé (micro-climat passager ? \*).

\*

Gradient pédologique : zone éluviale jusqu'en III, avec roche agressée et microflore benthique floride ; dépôts de fer abondants en IV ; "crasse" argileuse en V ; puis au-delà ennoyage argilo-calcaire de plus en plus riche en tuf, glacis des barrages en particulier bourgeonnants de tumeurs et parfois de vasques imitées du Verdus.

\*

\* additif 1966 : existence sur RG, légèrement en amont de IX, d'une distillerie rejetant des eaux chaudes de la façon la plus irrégulière.



Figure 16 : Aval de l'Hérault et Sources riveraines.

Courbes - (07) été, du 4 jul. 61 -

- (11) automne, du 21 nov. 61 -

- (01) hiver, du 24 jan. 63 -

- Pour les stations (chiffres romains) et sources (lettres), cf. carte et tableau IX.

- A cause de l'influence enrichissante des sources, ce n'est point la perte d' $\text{HCO}_3^-$  mais le TAC qui est figuré. Les flèches indiquent dans quel sens s'exerce la poussée.

- Les deux clochers IV B figurent les résultats de l'analyse qui devaient conduire à la mise en évidence de la source Bugadière (C).

\*

- Contraste avec l'amont : on notera ici la grande constance de  $/\text{CO}_2/$  et les variations, couplées, des seuls pH et TAC.

- Contraste des saisons : l'hiver enrichit et nivelle, l'été appauvrit et singularise ("socialisme scandinave" et "féodalité latino-américaine").

Les courbes estivales (y compris celle de la température) illustrent particulièrement bien le principe élémentaire selon lequel, en matière de dissolution chimique, réduction du solvant (le débit de l'Hérault) vaut quant aux effets sur la concentration augmentation du corps dissous (l'apport des sources).

Noter enfin l'importante variation du pH estival, à  $/\text{CO}_2/$  sensiblement constante, en relation avec  $/\text{CO}_3^= /$  (surconcentration).

\*

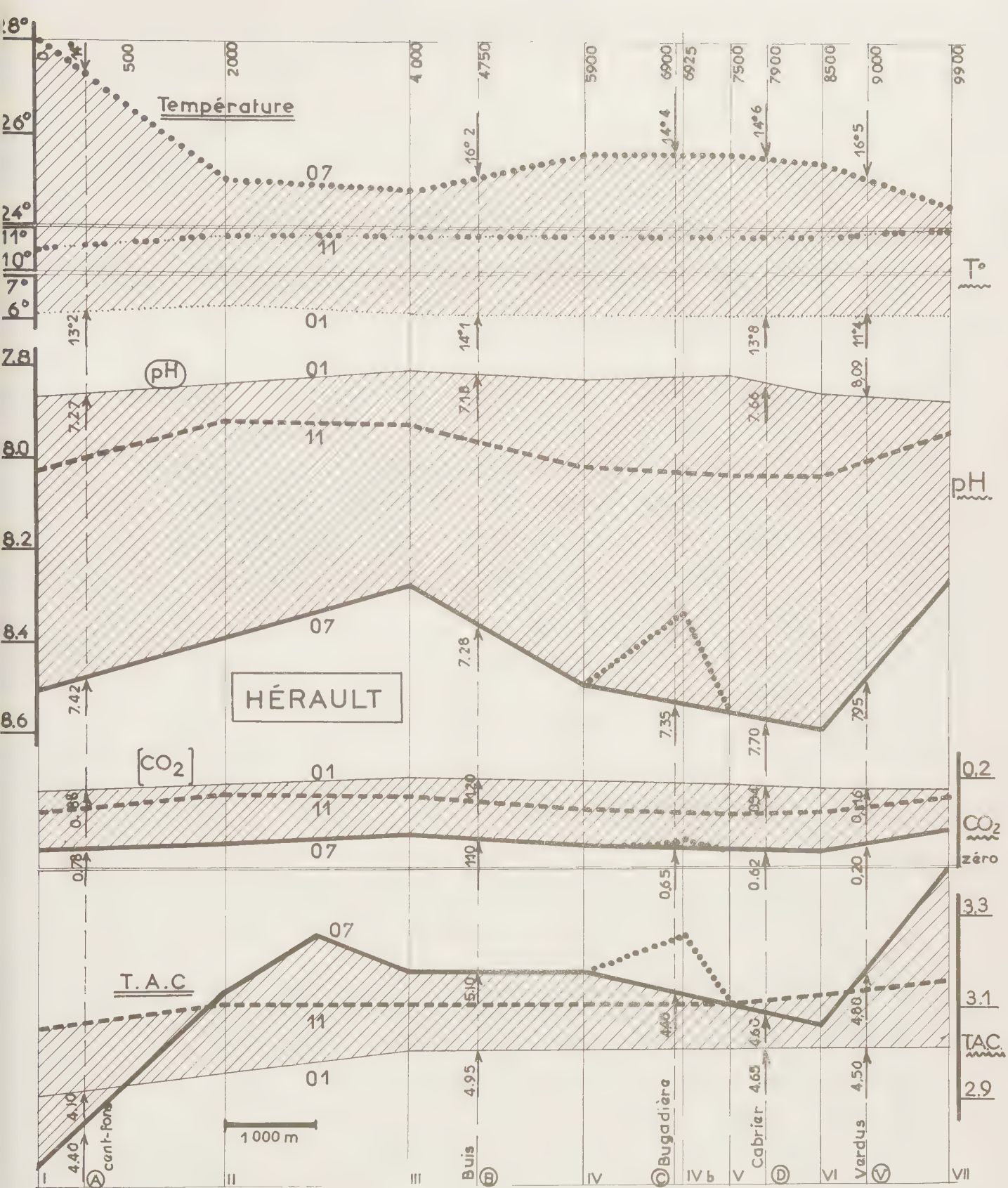


Fig. 16

Figure 18 : Microgradient carbonique à la station IV de la Buèges

Prélèvements : {épigée (bouteille remplie dans le courant)  
hyporrhéique (à la "seringue", dans le sol à 5 cm de profondeur).

Température de l'eau : 13° le 28 avril 61, pratiquement inchangée  
le 3 mai - Variation annuelle : hiver 12°, été : 17°.

Crue : Orages importants quelques jours plus tôt (fig. VI). Le niveau  
s'élève de 0,10 mais courant très accentué.

Biocoenose - Polycelis felina (F) et Dugesia gonoccephala (G).  
- Intensité du développement des algues encroûtantes sur  
la face ventrale des galets ("ceinture verte sous-équato-  
riale").\*

Hydrochimie : Acidité CO<sub>2</sub> : pH et /CO<sub>2</sub>/.  
TAC : 3,90 le 28 avril- 3,95 le 5 mai.

Pédologie : - BD : Bathonien dolomitique, fissuré et perméable.  
- BA : Bajocien - Aalénien, marneux et hydrophile.

\*

\* cf. : 5, fig. 19.

(tabl. 18-b)

| LA BUEGES (IV)                                       | Points<br>de Prélèvement                                 | A          | B                | C                |
|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------|------------------|------------------|
| coordonnées<br>(en m.)                               | distance de la<br>rive .....                             | 0,10       | 0,30             | 0,80             |
|                                                      | profondeur le<br>28 avril(+ 0,10<br>environ le 3 mai)    | 0,05       | 0,15             | 0,25             |
| biocoenose<br>(le 28 avril)                          | Planaires<br>(abondance de la<br>population) ....        | F++,G++    | F $\epsilon$ ,G+ | Fo, G $\epsilon$ |
|                                                      | Algues épilithi-<br>ques (intensité<br>de la couleur)... | ++         | +                | $\epsilon$       |
| Hydrologie<br>28 avril 61<br>(débit à l'é-<br>tiage) | Intensité du cou-<br>rant .....                          | $\epsilon$ | +                | ++               |
|                                                      | Acidité CO <sub>2</sub> épigée                           | 8,02(0,16) | 8,02(0,16)       | 8,02(0,16)       |
|                                                      | Acidité CO <sub>2</sub> hypo-<br>rhéique .....           | 7,78(0,27) | 7,90(0,21)       | 7,92(0,20)       |
|                                                      | Différence de pH                                         | 0,24       | 0,12             | 0,10             |
| Hydrologie<br>3 mai 61<br>(crue)                     | Intensité du cou-<br>rant .....                          | +          | ++               | ++++             |
|                                                      | Acidité CO <sub>2</sub> épigée                           | 7,85(0,24) |                  | 7,85(0,24)       |
|                                                      | Acidité CO <sub>2</sub> hypo-<br>rhéique .....           | 7,81(0,26) |                  | 7,83(0,25)       |
|                                                      | Différence de pH                                         | 0,04       |                  | 0,02             |

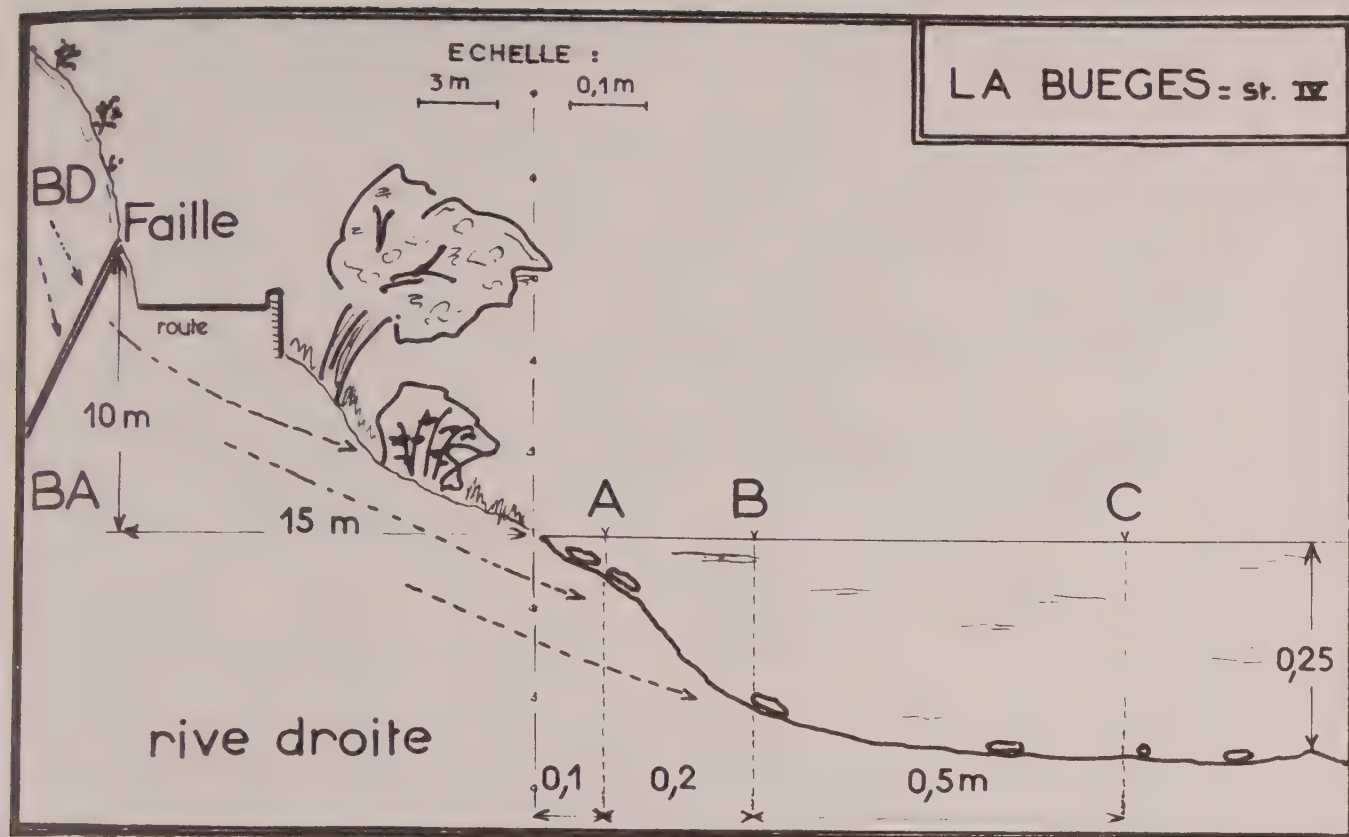


Fig. 18

(légende de la figure 19)

Figure 19 : Galets-témoins du gradient carbonique :

1. Source du Verdus (st. I)

- relevé sur sol très perméable, de sable et graviers dolomitiques...
- calcaire marneux Oxfordien, fortement "agressé" : alvéoles et arêtes vives,
- uniformément encroûté de Cyanophycées-Chlorophycées : teinte vert jardin.
- eau assez vive en permanence, tourbillons ; émergence d'eau hypogée riche en  $/CO_2/$  = 0,60 et moyennement en  $Fe^{2+}$ .
- températures<sup>2</sup> extrêmes : 14° - 14°5.
- (assez nombreuses Polycelis felina, quelques Dugesia gonocephala)

BILAN : action dominante de  $/CO_2/$  et du courant, sus- et sous-jacent, secondairement de  $/Fe^{2+}/$ .

2. Bassin de la source du Cabrier

- relevé sur arène et gravier de décalcification dolomitique, très perméables comme en (1.)
- calcaire bathonien dolomitique, en forme de tubercule arrondi et lisse au toucher.
- uniformément encroûté d'algues comme en (1.) mais moins vert ; face ventrale blanche, non exposée au courant.
- eau beaucoup moins vive qu'en (1.), surtout en belle saison ; pas d'ascendances...
- moins de  $/CO_2/$  : 0,40 , et de fer.
- températures<sup>2</sup> extrêmes : 13°5 - 14°5
- (D. gonocephala et D. lugubris, rares Dendrocoelum lacteum).

BILAN : "modèle réduit" de (1.).

3. Canal d'irrigation du Verdus (St. III)

- relevé sur sol perméable, analogue à la source (1.)
- Calcaire Bajocien, gréseux et plus riche en fer, "agressé" face au courant, type (1.)
- encroûtement orienté et dégressif de Rhodophycées : brun (++), puis de Cyanophycées : vert (:), nettement en rapport avec...
- le courant, systématisé, fort et permanent,
- moyennement riche en  $/CO_2/$  = 0,25 et en fer.
- températures extrêmes : 13° - 16°5.
- (nombreuses P. felina, rare D. gonocephala).

BILAN : action dominante du courant, secondairement des facteurs chimiques.

4. Ruisseau de la Station IV de l'Hérault

- relevé sur gravier grossier calcaire, volcanique et cristallin, très perméable.
- galet granitique arrondi, lisse et gluant au toucher.
- encroûté (aspect de printemps = 16°) face au courant de Cyanophycées : vert-bouteille (gradient dégressif).
- le courant systématisé et assez vif au printemps, s'annule à l'étiage ; noyé par le fleuve en hiver.
- richesse moyenne au printemps seulement en  $/CO_2/$  = 0,30 et fer ; non en hiver (fleuve pauvre), ni en été (assèchement).
- température (fleuve) 6° - 24° - écart atténué de 1 à 2° dans le ruisseau.
- (D. lugubris et Dendrocoelum, quelques D. gonocephala : toutes de grande taille avec ponte abondante au printemps).

BILAN : "modèle réduit" de (3).

5. Station IV de la Buèges au 28 Avril 61 (étiage)

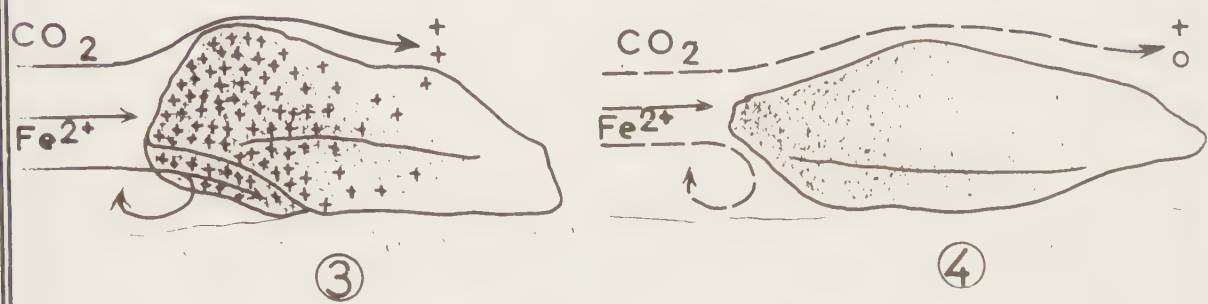
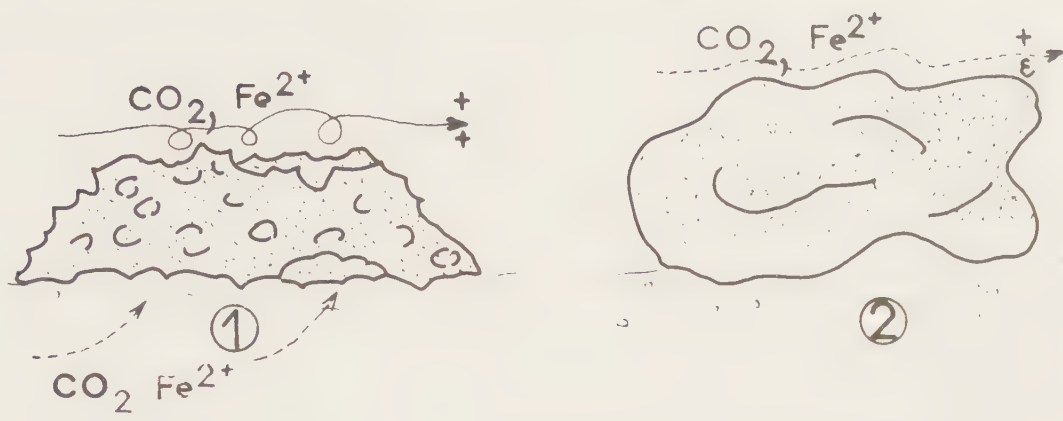
- relevé sur lit de gravier, plus ou moins enrichi d'argile : à demi-perméable.
- calcaire marneux sinémurien, gris foncé et lisse au toucher.
- encroûtement de Cyano- et Chlorophycées, sauf sur la face ventrale ; l'hémisphère supérieur est jauni, d'où l'aspect de "ceinture verte sous-équatoriale".
- courant très faible contre la rive au lieu de prélèvement ; ascendances d'eau hypogée.
- $/CO_2/$  et Fer, très abaissés dans le courant, élevés dans le suintement du sol.
- température au 28 avril : 13° ; extrêmes : 11° - 17°5
- (P. felina, quelques D. gonocephala).

BILAN : Macro- et microgradient carbonique, côté amont d'une rivière.

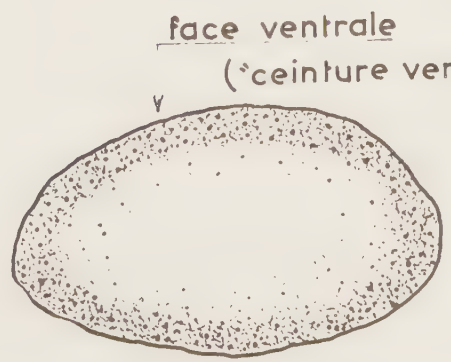
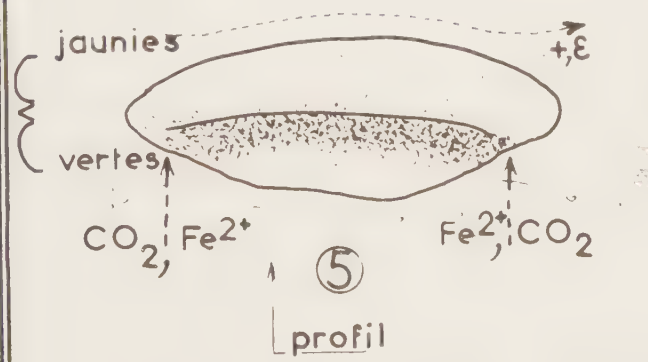
6. Station IX du Lez

- relevé sur rive d'argile calcique compacte, très finement poreuse (asphyxique)...
- calcaire Berriasien encroûté de tuf, surtout sur la face dorsale ; plaque noire de sulfure de Fer au pôle ventral correspondant à la zone de contact, entourée d'une auréole rouille de sesquioxyde = "cocarde".
- Chlorophycées filamenteuses sur l'hémisphère supérieur.
- courant à peu près nul en été ; suintement de déclivité du talus.
- eau du fleuve surappauvrie l'été en  $/CO_2/$  et Fer, incrustante en toutes saisons ; suintement riverain chargé de  $/CO_2/$  et Fer, pauvre en  $O_2$  l'été.
- températures extrêmes : 13°5 - 23°5.
- (gîte à D. tigrina et D. subtentaculata).

BILAN : Macro et microgradient, côté aval d'une rivière.



algues encroutantes :



algues filamenteuses :

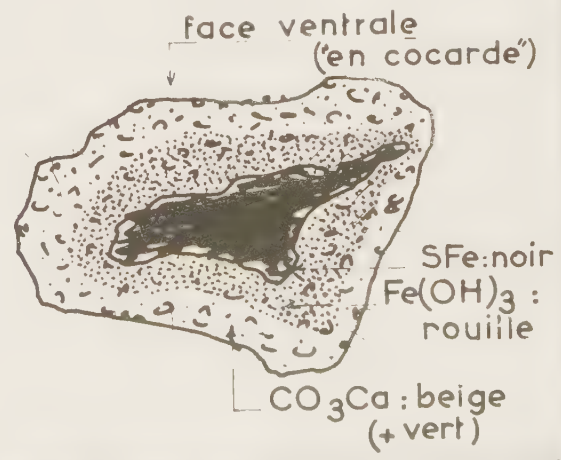
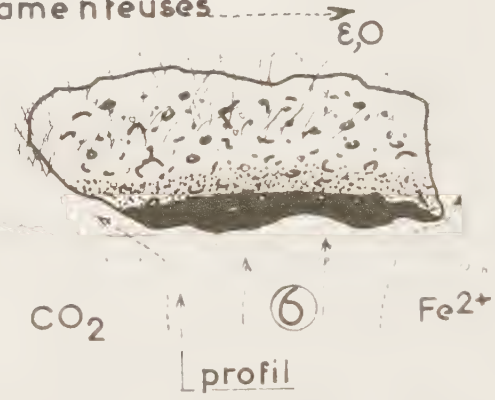


Fig. 19

tabl. 20 : Coïncidences dans les eaux courantes  
entre milieu hydrologique et biocoenose

(tabl. 20)

|            |                                                                                                                                                       | TENDANCES                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|            |                                                                                                                                                       | AMONT ← ● → AVAL                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| FACTEURS   | COINCIDENCES                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|            | Hydrologie physique { Courant { intensité<br>évolution<br>(temps-espace)                                                                              | fort<br>subcontinu                                                                                                                                                                                                                                                 | faible<br>alternatif                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|            | { Climat { intensité<br>(moyenne estivale)<br>évolution<br>(temps-espace)                                                                             | tempéré froid<br>subcontinu,<br>sténotherme                                                                                                                                                                                                                        | tempéré chaud<br>périodique,<br>eurytherme                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|            | Hydrologie chimique { Oxygène { intensité<br>évolution<br>Hydrochimie {<br>G. C. {<br>Pédologie {                                                     | -2/3 saturation<br>env. ou plus<br>-en permanence<br><br>-eau agressive<br>-limpide<br>(solution)<br>-CO <sub>2</sub> , TAC,<br>SiO <sub>2</sub> , Fe <sup>++</sup> } ⊕<br>et O.E.)<br>-sol éluvial<br>ou sub-illuvial,<br>perméable, décapé,<br>acide(calcaire -) | -100 à 50%,<br>et moins encore<br>-très variable<br>dans le temps<br>et l'espace<br>-eau incrustante<br>-trouble(suspension)<br>ou clarifiée<br>-CO <sub>2</sub> , TAC,<br>SiO <sub>2</sub> , Fe <sup>++</sup> } ⊖<br>et O.E.)<br>-sol illuvial<br>("pluie de cendres"),<br>colmaté, incrusté,<br>basique(calcaire+) |
| BIOCOENOSE | en général... { Flore { .racines flottantes<br>.Bryophytes<br>.Algues benthiques<br>Faune { .Gammarès, Théodoxies,<br>.Ancylopes, Bythinelles..       | (+)<br>-submergés, (+)<br>-encroûtantes, (+)<br><br>(+)                                                                                                                                                                                                            | (-)<br>-amphibies, (-)<br>-filamenteuses, (-)<br><br>(-)                                                                                                                                                                                                                                                             |
|            | Planaires { -espèces et races<br>-reproduction<br>-évolution<br>-taille<br>et maturation<br>-survivance et<br>vitalité, activité<br>sensitivo-motrice | P. felina<br>D. gonocephala<br>- sexuée<br>- subcontinue<br><br>(+)<br><br>(+)                                                                                                                                                                                     | D. tigrina<br>D. subtentaculata<br>- asexuée<br>- périodique<br><br>(-)<br><br>(-)                                                                                                                                                                                                                                   |

(légende de la figure 21)

Figure 21 : Station III de La Buèges

- a) Schéma :
- fossé jalonné de saules nains, avec son sous-écoulement supposé ;  
les hachures figurent le surplomb du talus riverain, haut de quelques décimètres.
  - le "delta" : cône de déjection du fossé, avec sa mare (D) (seulement en janvier 1962) et le microbiotope (C) dans la crique d'amont (le pointillé correspond très schématiquement au niveau de profondeur 0,10 m et aussi à la frontière approximative des eaux courantes et dormantes) ; en aval du bouquet de saules du delta, la rive bien plus abrupte, inclinée à plus de 45° et plus, abrite des Planaires beaucoup plus rares.
- b) Hydrologie :
- eau épigée : identique en (A), (B) et (C) du point de vue  $\Sigma\text{CO}_2$ , très appauvrie l'été et enrichie l'hiver.
  - eau hypogée : gradients carboniques dégressifs vers l'épigée, et de (C) en (A), "flairés" par les Planaires (?). L'affluence latente soupçonnée en avril 1961 se manifestera seulement en janvier 1962 : la richesse supérieure en  $\Sigma\text{CO}_2$  de la mare (D) en démontre l'origine hypogée et exclut qu'elle puisse provenir de la rivière ou de tout autre ruissellement. Action conservatrice du froid.

(tabl. 21-b)

| STATION III<br>de la BUEGES<br>(HYDROLOGIE)<br>1961 - 1962                                                               | P R I N T E M P S<br>(13/18 avril 61)<br>débit = {précocement bas<br>à l'étiage |               |                  | E T E<br>(6 sept. 61)<br>Max.<br>sécheresse | H I V E R<br>(3 janvier 62)<br>débit = {hivernal,<br>élevé |               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------|------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------|
| MICROBIOTOPES :                                                                                                          | delta<br>-(C)-                                                                  | rive<br>-(B)- | courant<br>-(A)- | courant<br>-(A)-                            | courant<br>-(A)-                                           | mare<br>-(D)- |
| Polycelis felina<br>(population)                                                                                         | +++                                                                             | ξ             | ξ0               | 0                                           | 0                                                          | 0             |
| EAU EPIGEE {<br>- profondeur(en m)<br>- courant<br>- température<br><br>(G.C) {<br>- pH<br>- /CO <sub>2</sub> /<br>- TAC | 0,05                                                                            | 0,05          | 0,30             | 0,25                                        | 0,40                                                       | 0,15          |
|                                                                                                                          | ξ                                                                               | ξ             | +                | ξ+                                          | ++                                                         | 0             |
|                                                                                                                          | 13°2                                                                            |               |                  | 16°9                                        | 12°4                                                       |               |
|                                                                                                                          | 7,98                                                                            | /             | 7,94             | 8,16                                        | 7,83                                                       | 7,39          |
| eau<br>HYPO- (G.C) {<br>- pH<br>- /CO <sub>2</sub> /<br>GEE<br>(profondeur - 0,05m)                                      | 0,17                                                                            | /             | 0,19             | 0,12                                        | 0,25                                                       | 0,70          |
|                                                                                                                          | 3,90                                                                            | /             | 3,90             | 3,85                                        | 4,05                                                       | 4,70          |
|                                                                                                                          | 7,40<br>0,7                                                                     | 7,68<br>0,4   | 7,79<br>0,3      | /                                           | /                                                          | /             |



(tabl. 22)

| L A V I S<br>Station des<br>Deux-Ponts |           | P R I N T E M P S<br>(14 avril 1961)       |                            | E T E<br>(9 juillet 1961)                                           |                              |                                                                  |
|----------------------------------------|-----------|--------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| MICROBIOTOPES :                        |           | -(A)-<br>Bras mort                         | -(B)-<br>rivière           | -(A)-<br>Bras mort                                                  | -(B)-<br>rivière             |                                                                  |
| B I O C O E N O S E                    | ALGUES    | { -épili-<br>thiques,<br>encroû-<br>tantes | teinte<br>verte<br>+++     | teinte<br>minérale et<br>granulations<br>verdissantes<br>calcifiées | teinte<br>vert-jaune<br>sale | teinte<br>minérale et<br>granulations<br>encore plus<br>blanches |
|                                        |           | { -filamen-<br>teuses                      | 0                          | 0                                                                   | ++                           | ou +<br>(hors courant)                                           |
|                                        | PLANAIRES | { -espèce                                  | D.gonocephala              | subtentaculata                                                      | G.                           | S.                                                               |
|                                        |           | { -nombre et<br>vitalité                   | ++                         |                                                                     |                              | +                                                                |
|                                        |           | { -teinte                                  | verte                      | brun-vert                                                           | jaune-<br>verdâtre           | brune                                                            |
|                                        |           | { -repro-<br>duction                       | cocons<br>et jeunes<br>+++ | traces<br>de division<br>+                                          | cocons<br>et jeunes<br>0     | traces<br>de division<br>+                                       |
| H Y D R O L O G I E                    | {         | -aspect<br>général                         | limpide                    | plus "terne"<br>qu'en A                                             | stagnant                     | sans<br>changement                                               |
|                                        |           | -courant                                   | 0                          | ++                                                                  | 0                            | +                                                                |
|                                        |           | -tempé-<br>rature                          | 13°4                       | 13°4                                                                | 19°5                         | 19°5                                                             |
|                                        |           | . pH                                       | 7,68                       | 8,36                                                                | 8,22                         | 8,43                                                             |
|                                        |           | G. C. . /CO <sub>2</sub> /                 | 0,32                       | 0,07                                                                | 0,10                         | 0,06                                                             |
|                                        |           | . TAC                                      | 3,60                       | 3,55                                                                | 3,40                         | 3,40                                                             |

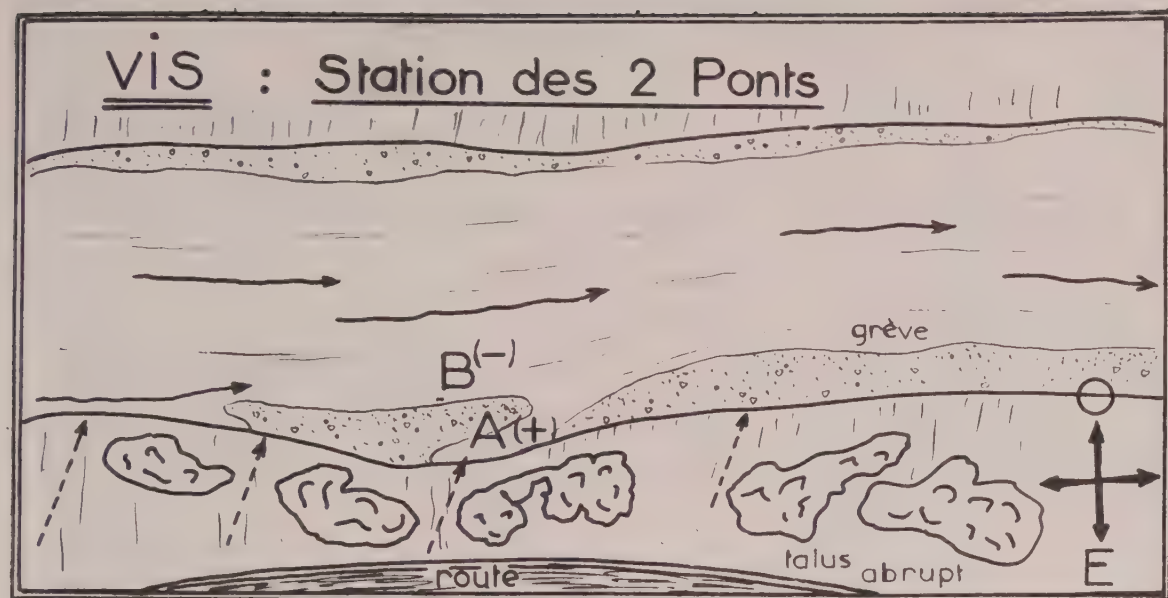


Figure 22 : Station des Deux Ponts, dans la Vis

- a) Schéma :

- Le microbiotope (A), enrichi en  $\text{CO}_2$  par une affluence hypogée, nécessite la conjonction simultanée de plusieurs conditions : un suintement de déclivité du talus argilo-humique, la contiguïté du milieu aquatique, la protection enfin vis-à-vis du courant que réalise un banc de galets.

La singularité de la station et son caractère périodique tiennent très simplement à la carence dans l'espace (en amont, en aval) ou dans le temps (hiver, été) de l'un ou l'autre de ces éléments.

- b) Hydrologie :

- Microgradient carbonique de printemps en (A), "asséché" l'été (et balayé l'hiver).

Figure 23 : Station IV de l'Hérault

- a) Schéma :

Deux mécanismes différents interviennent ici pour constituer les micro G.C. supposés être à l'origine, pour les Planaires du fleuve, de deux microbiotopes privilégiés :

En (A-B), résurgence du sous-écoulement de l'Hérault.

En (C-D) suintement de déclivité au pied de la montagne.

Dans les deux cas, rôle conjoint de la dénivellation mettant en charge les eaux hypogées, et des strates calcaires compactes comme niveau imperméable de recueil pour les faire émerger et les orienter.

Comparer avec les stations déjà étudiées de la Vis, de Buèges-IV et de Lez-IX(\*), où une pente bien plus abrupte et l'abondance des colloïdes argileux dispensaient de la présence de strates compactes de recueil.

Certaines conditions subsidiaires, déjà reconnues indispensables à la station de la Vis, sont ici encore réalisées :

- 1) la protection vis-à-vis du flux épigée, assurée en (A) par le banc de galets et en (C-D) par la situation en retrait - ceci évidemment à l'étiage, car les hauts débits de l'hiver "effacent tout".

- 2) la contiguïté du suintement et du milieu aquatique : parfaite en (D), mais progressivement disjointe vers l'aval par l'interposition croissante de la grève, véritable écran absorbant.

\*

(tabl. 23-b)

| H E R A U L T<br>Station IV |                      | P R I N T E M P S<br>(18 avril 1961)          |                                              |                                        |                                                                             | E T E<br>(4 juillet 1961) |                                         |                                       |
|-----------------------------|----------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------|
| MICROBIOTOPES :             |                      | -(A)-<br>ruisselet                            | -(B)-<br>rapide                              | -(C)-<br>grève<br>sableuse             | -(D)-<br>grève<br>à rhizosphère                                             | -(A)-<br>ruisselet        | -(B)-<br>rapide                         | -(C)-<br>grève<br>sableuse            |
| BIOCOENOSE                  | ALGUES<br>benthiques | - encroûtantes ▶                              | +++<br>vertes et rouges                      | teintes<br>minérales                   | 0                                                                           | /                         | +                                       | 0                                     |
|                             |                      | - filamenteuses ▶                             | 0                                            | 0                                      | ε +                                                                         | +                         | ++                                      | ++++                                  |
|                             | PLANAIRE             | espèces<br>nombre                             | G,L,D = ++<br>T = ε 0                        | { S = +<br>T = ε 0                     | S,T,L = ++<br>D = ε                                                         | L, D ++<br>G → ε 0<br>T ε | S = ++<br>brun-vert<br>"intermédiaires" | S,T,L = +++<br>D = +<br>petite taille |
|                             |                      | vitalité<br>aspect<br>reproduction<br>... etc | grande taille<br>G vertes<br>gros cocons +++ | petite taille<br>brunes<br>scissipares | petite taille<br>brunâtres<br>T,S = scissipares<br>D,L = petits<br>cocons ε | rare cocons               |                                         | petits cocons DL<br>+                 |
| HYDROLOGIE                  | EPIGEE               | physique { courant<br>tempéra-<br>ture        | +                                            | +++                                    | ε                                                                           | ε                         | ε 0                                     | 0                                     |
|                             |                      |                                               | 15°8                                         | 16°2                                   | 15°9                                                                        | 15°9                      | 24°2                                    | 25°6                                  |
|                             | HYPOGEE              | { pH<br>/CO <sub>2</sub> /                    | 7,71<br>0,27<br>3,40                         | 8,14<br>0,10<br>3,25                   | 8,09<br>0,12<br>3,25                                                        | 8,09<br>/<br>/            | 8,35<br>/<br>/                          | 8,50<br>0,05<br>3,15                  |
|                             |                      | { pH<br>/CO <sub>2</sub> /                    | 7,66<br>0,3                                  | 7,91<br>0,2                            | 7,92<br>0,2                                                                 | 7,50<br>0,4               | /                                       | /                                     |

- b) Hydrologie des microbiotopes de la station IV, Hérault :

Noter en particulier :

- en (A), le micro G.C. épigée : non modifié par les chaleurs de l'été au contraire de l'eau du fleuve (B-C), mais disparition du courant.
- En (D), le micro G.C. hypogée : il n'a pas été vérifié en juillet 61, mais le flux en est certainement amoindri même si son acidité reste importante, puisqu'il s'agit d'un sol qui "s'égoutte".

- c) Résurgence hyporrhéique au niveau du rapide (B)

- noter déjà dans le précédent tableau, la plus grande acidité de (B) par rapport à (C) en juillet 61.
- en septembre 61, un prélèvement effectué dans le rapide (en B) au ras du fond et de la rive plus abrités du courant, au niveau des gîtes d'élection de D. subtentaculata, accuse un ressaut très localisé mais encore plus marqué de l'acidité carbonique (totale) ; la résurgence hyporrhéique, à l'état pur dans le ruisselet (A), se produit encore par conséquent dans le rapide (confluence), favorable à certaines micro-flore et microfaune.

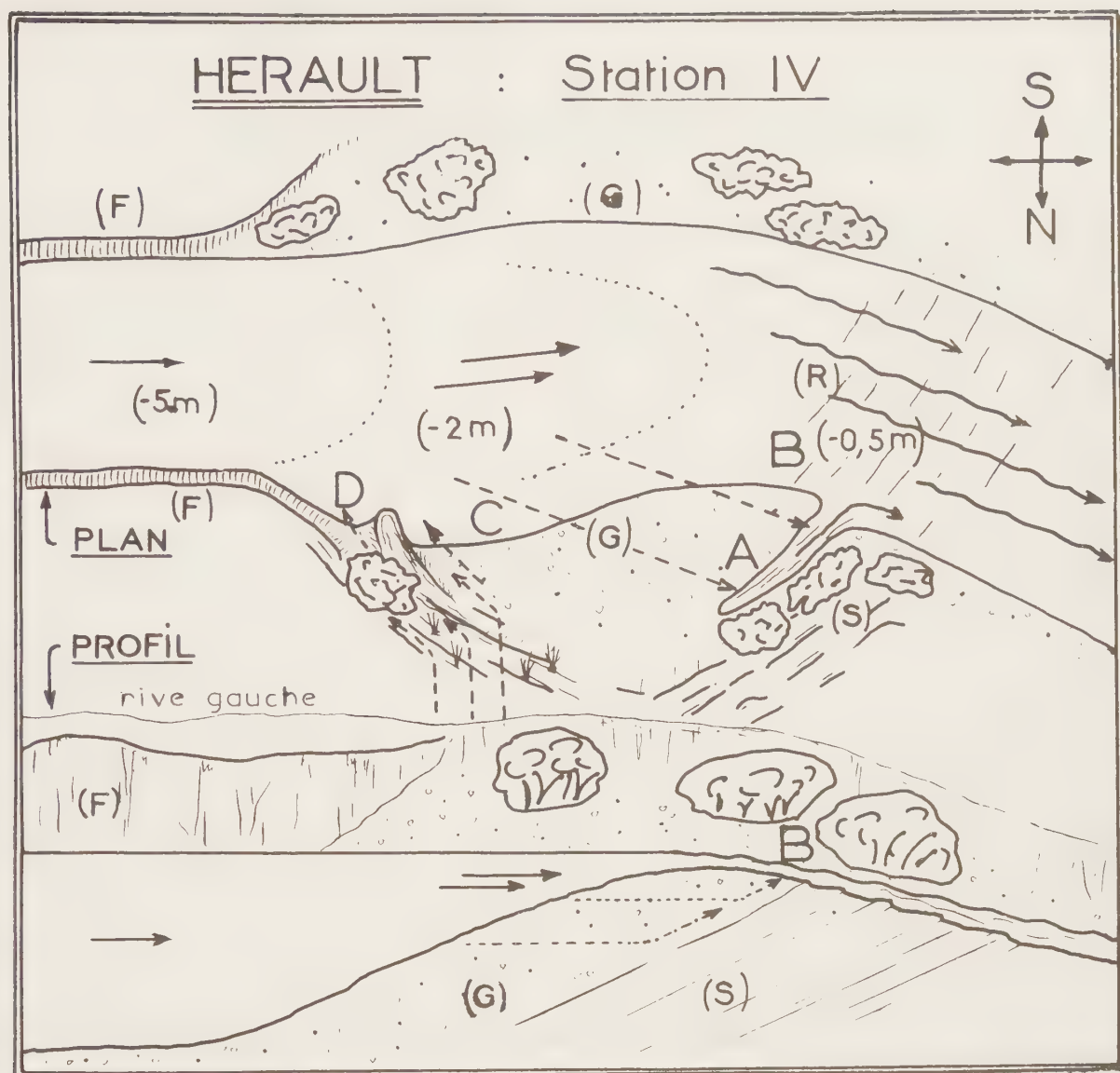


Fig. 23

(tabl. 23-c)

| HERAULT<br>rapide (B) de la<br>station IV<br>(9 septembre 61) | à 10 m en<br>amont du<br>rapide<br>▼ | Rive droite du<br>rapide (B)<br>au niveau du<br>fond | à 10 m en<br>aval du<br>rapide<br>▼ |
|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Température                                                   | 22°0                                 | 21°6                                                 | 21°8                                |
| eau épiquée { pH                                              | 8,14                                 | 7,92                                                 | 8,24                                |
| GC /CO <sub>2</sub> /                                         | 0,10                                 | 0,18                                                 | 0,08                                |
| TAC                                                           | 3,35                                 | 3,50                                                 | 3,35                                |

Figure 24 : Dispositif expérimental pour l'étude du Tropicisme

Le point crucial du dispositif était l'existence d'un contact "sans faille" entre les extrémités du "pont" et la paroi des deux cristallisoirs, condition sine qua non pour le libre passage d'animaux rampants.

Ce contact était assuré par l'expansion élastique des pieds du chevalet, elle-même consécutive à une mise en tension particulière du double anneau de caoutchouc servant à solidariser les deux parties constitutantes de ce chevalet.

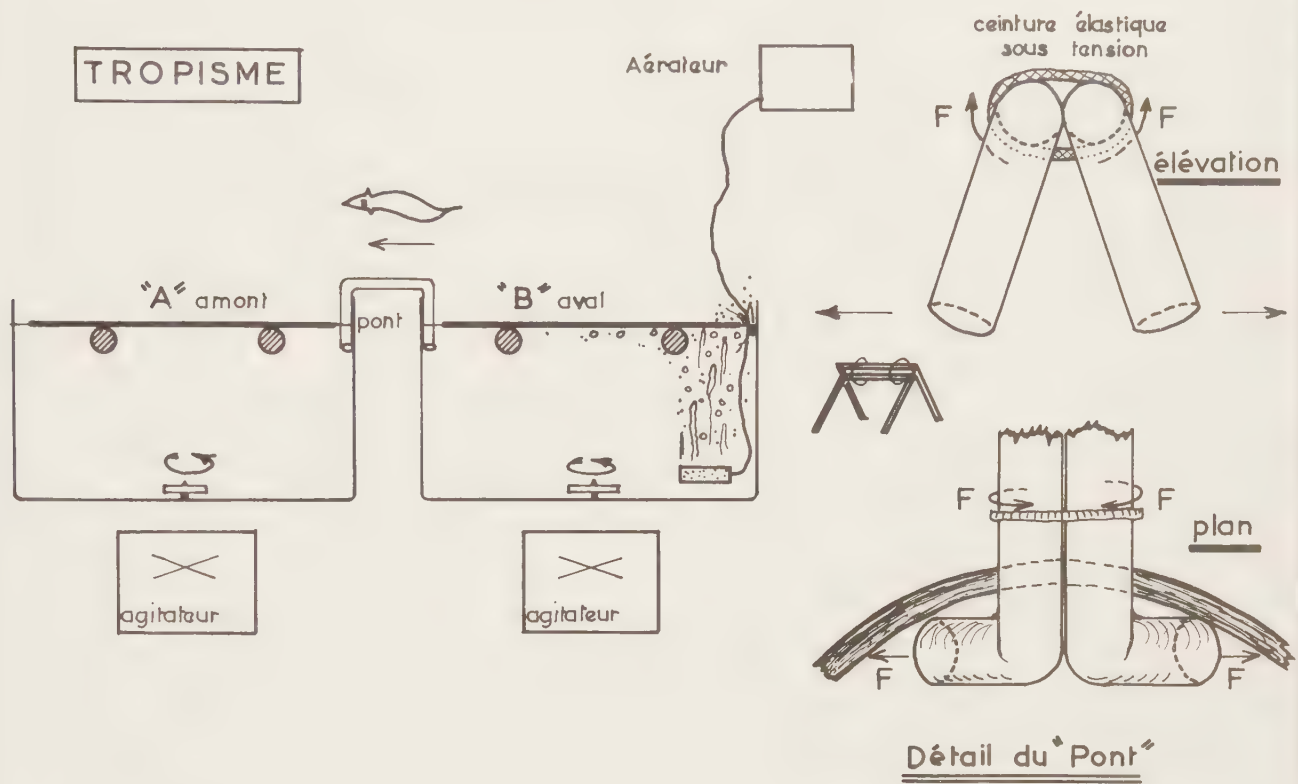


Fig. 24

Tableau 25 : Tropisme dans le G.C.

- a) Protocole d'Expérimentation 23.11.63

- Hydrologie : - eau de la source du Lez (distribution urbaine) :  
16/18° - /CO<sub>2</sub>/ : 1,8 mé<sup>-</sup>/HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>/ : 5,5 mé renouvelée après chaque essai.  
- installation en chambre noire - agitation magnétique permanente.
- Biocoenose : - par cristallisateur de 8 litres : 20 D. subtentaculata taille 8/10 mm, récoltées à la Source du Buis (espèce adaptée à la température du laboratoire, supérieure à 20°).
- Essais : - dans l'ordre chronologique, numérotés de 1 à 15 (les cas de tropisme douteux ou négatifs ont été cerclés) ; durée de chacun en nycthémes.
- G. C. : - particularités de sa création pour chaque essai :  
décarbonisation en (B) de l'eau de source primitive par aération au contact de l'atmosphère ou ventilation par micropompe-diffuseur, par addition d'eau de chaux saturée, d'eau distillée ou bouillie...
- Hydrologie terminale :  
- ("amont" au numérateur, "aval" au dénominateur) -  
Pour les analyses pratiquées en cours d'essai (à l'heure indiquée entre parenthèses), leurs résultats précèdent ceux de l'analyse terminale.
- Tropisme : - distribution des Planaires en fin d'essai en valeur absolue (N) et en pourcentage de la population totale des deux cristallisoirs (40) ; le coefficient K, de répartition relative A/B, donne au tropisme une expression numérique - La disparition d'une Planaire (morte et dilacérée, ou bien oubliée lors du recensement) donnera un total  $\Sigma N$  inférieur à 40 ; d'autre part, un nombre absolu avec décimale peut aussi bien signifier la dispersion physique d'un animal divisé, que sa répartition comptable entre les deux parties pour avoir été trouvé immobilisé dans le siphon.
- Observations et remarques diverses : relatives aux Planaires (en fin d'essai) d'ordre physiologique et biologique, ou encore à la conduite de l'expérience et jugées susceptibles de l'avoir influencée (par exemple, un essai très prolongé à température élevée et sans aération n'ira pas sans carence terminale en oxygène...).

(tabl. 25-a)

| EXP 23.11.63 |                                                                                                                                                      | Hydrologie(finale) $\frac{A}{B}$ |                                                           |                               |                                  | Tropisme $\frac{A}{B}$ |                       |                     | Activité,                                                                         | Vitalité (Fissions,                                                                  | Remarques                                                                                        |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Essais       | Gradient Carbonique                                                                                                                                  | Durée                            | T°                                                        | /CO <sub>2</sub> /            | /HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> / | N                      | % $\Sigma$            | (K)                 | Excitabilité                                                                      | morbidity,mortalité)                                                                 |                                                                                                  |
| ①            | - Ventilation permanente <u>très lente</u> de B<br>- Pas d'agitation magnétique                                                                      | 3                                | $\frac{19^{\circ}2}{19^{\circ}4}$                         | $\frac{1,55}{0,39}$           | $\frac{5,50}{4,50}$              | $\frac{13}{27}$        | $\frac{32,5}{67,5}$   | (0,48)              |                                                                                   | - Bonne santé en A & B<br>- 3 fissions en B                                          | La micropompe crée en B un léger courant, eau immobile en A.                                     |
| ②            | - B initial enrichi de 175 ml eau de chaux, puis ventilation permanente <u>très lente</u> .<br>- Mise en route de l'Agitation magnétique bilatérale. | 2                                | $\frac{21^{\circ}5}{21^{\circ}5}$                         | $\frac{1,40}{0,37}$           | $\frac{5,50}{3,80}$              | $\frac{21}{18}$        | $\frac{52,5}{45,0}$   | (1,17)              | Après 2 h : 9 actives en A, 2 en B                                                | - 1 fission en B<br>- toutes en bonne santé                                          | - Repas - TAC initial B > A<br>- échauffement par agitateurs                                     |
| 3            | - Ventilation permanente <u>forte</u> de B<br>- Agitateurs éloignés du fond des bacs, pour ne plus chauffer l'eau                                    | 1                                | $\frac{19^{\circ}9}{19^{\circ}6}$                         | $\frac{1,25}{0,35}$           | /                                | $\frac{29}{11}$        | $\frac{72,5}{27,5}$   | 2,63                | Activation par lumière et brassage en fin d'essai =(A plus de 70%,B moins de 30%) | - 1 fission en A                                                                     | Final = voracité et cannibalisme en A, inertie en B                                              |
| ④            | - Ventilation permanente <u>forte</u> de B<br>- Panne d'agitation bilatérale le 2ème jour                                                            | 3                                | $\frac{20^{\circ}0}{19^{\circ}7}$                         | $\frac{0,62}{0,28}$           | $\frac{4,40}{3,60}$              | $\frac{21}{16}$        | $\frac{52,5}{40,0}$   | (1,31)              |                                                                                   |                                                                                      | Léger courant en B par la micropompe et mélange notable des eaux entre A et B                    |
| 5            | - Ventilation <u>forte</u> de B                                                                                                                      | 1                                | $\frac{20^{\circ}5}{20^{\circ}5}$                         | $\frac{1,15}{0,28}$           | $\frac{5,45}{4,00}$              | $\frac{31}{8,5}$       | $\frac{77,5}{22}$     | 3,88                |                                                                                   | Très bonne santé en A et B                                                           | Repas                                                                                            |
| 6            | - B initial appauvri par 25 % d'eau distillée, puis couvercle = pas de ventilation.                                                                  | 2                                | $\frac{21^{\circ}7}{22^{\circ}2}$                         | $\frac{1,30}{1,18}$           | $\frac{5,35}{4,50}$              | $\frac{24}{16}$        | $\frac{60}{40}$       | 1,50                |                                                                                   | A = 4 érodées soit 17%<br>B = 4 fissions + 3 mourantes : 44 %                        | .oxygénation initiale identique mais manque global<br>.les agitateurs chauffent (surtout B)      |
| 7            | - Aération permanente de B : pas de couvercle                                                                                                        | 1<br>(16è h)                     | $\frac{20^{\circ}5/21^{\circ}8}{20^{\circ}5/21^{\circ}8}$ | $\frac{1,25/1,10}{0,52/0,52}$ | $\frac{5,55/5,50}{5,35/5,10}$    | $\frac{30}{10}$        | $\frac{75}{25}$       | 3,00                | A vivaces et excitables<br>B léthargiques                                         |                                                                                      | Repas                                                                                            |
| 8            | - Ventilation permanente <u>lente</u> de B                                                                                                           | 3                                | $\frac{20^{\circ}3}{21^{\circ}6}$                         | $\frac{1,10}{0,35}$           | $\frac{5,20}{3,40}$              | $\frac{28}{12}$        | $\frac{70}{30}$       | 2,33                |                                                                                   | Plus de 50% érodées et coupées en A, moins de 30 % en B                              | Agitateur de B chauffe                                                                           |
| ⑨            | - B initial enrichi de 200 ml d'eau de chaux, puis couvercle, pas de ventilation                                                                     | 1                                | $\frac{19^{\circ}5}{20^{\circ}0}$                         | $\frac{1,35}{1,00}$           | $\frac{5,40}{5,70}$              | $\frac{21}{18}$        | $\frac{52,5}{45}$     | (1,16)              |                                                                                   | 1 mort initial en B, tué par l'eau de chaux                                          | . Repas<br>. Oxygénation initiale identique                                                      |
| 10           | - Aération permanente <u>faible</u> de B : pas de couvercle pendant 7 h., puis demi-couvercle                                                        | 2,5                              | $\frac{20^{\circ}5}{20^{\circ}5}$                         | $\frac{1,20}{0,60}$           | $\frac{5,40}{4,55}$              | $\frac{24,5}{15,5}$    | $\frac{61}{39}$       | 1,55                |                                                                                   | A=3 coupées et 7 érodées = 41 %<br>B=4 coupées ou érodées = 26 %                     |                                                                                                  |
| 11           | - Ventilation <u>forte</u> de B durant 1 h, puis aération permanente, sans couvercle.<br>- Intersion des cristallisoirs A et B.                      | 1                                | $\frac{20^{\circ}8}{18^{\circ}8}$                         | $\frac{1,25}{0,35}$           | $\frac{5,40}{4,80}$              | $\frac{30}{10}$        | $\frac{75}{25}$       | 3,00                | Bonne vivacité en A et B                                                          |                                                                                      | Repas                                                                                            |
| ⑫            | - Ventilation <u>forte</u> de B durant 5 h, puis couvercle, avec même aération de A et B 1 h. par jour.                                              | 3<br>(5è h.)                     | $\frac{18^{\circ}2}{18^{\circ}8}$                         | $\frac{1,60/0,83}{0,42/0,63}$ | $\frac{5,50/5,20}{5,50/5,20}$    | $\frac{17}{19}$        | $\frac{47}{53}$       | (0,82)              |                                                                                   | A=8 coupées ou érodées + 3 mortes = 59 %<br>B=5 coupées ou érodées + 2 mortes = 37 % |                                                                                                  |
| 13           | - Aération permanente <u>très faible</u> de B : demi-couvercle                                                                                       | 1<br>(5è h.)                     | $\frac{17^{\circ}2/17^{\circ}5}{17^{\circ}2/17^{\circ}5}$ | $\frac{1,45/1,35}{0,80/0,67}$ | $\frac{5,45/5,45}{5,45/5,45}$    | $\frac{24/28}{16/10}$  | $\frac{60/74}{40/26}$ | $\frac{1,50}{2,80}$ |                                                                                   | 1 mort en B                                                                          | Repas                                                                                            |
| 14           | - B initial appauvri de 25 % d'eau bouillie 15', puis même aération permanente <u>très faible</u> de A et B: demi-couvercle.                         | 1<br>(1è h.)                     | $\frac{16^{\circ}8}{17^{\circ}2}$                         | $\frac{1,80/0,34}{1,15/0,35}$ | $\frac{5,45/5,25}{4,55/4,65}$    | $\frac{29}{11}$        | $\frac{72}{28}$       | 2,60                |                                                                                   | 1 mort en A et B                                                                     | - oxygénation rigoureusement identique.<br>- gradient surtout d'/HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> / |
| ⑮            | - A = source du Lez, plus riche en $\Sigma$ CO <sub>2</sub> et SiO <sub>2</sub> .<br>- B = source Rigai St G. plus pauvre.                           | 1<br>(1è h.)                     | $\frac{17^{\circ}2}{18^{\circ}0}$                         | $\frac{1,80/1,30}{0,50/0,60}$ | $\frac{5,50/5,45}{4,40/4,45}$    | $\frac{20}{19}$        | $\frac{51}{49}$       | (1,05)              | Toutes vives et excitables                                                        | 1 mort en A                                                                          | - Repas<br>- oxygénation identique                                                               |

Tableaux 25 : Tropisme dans le G.C. (suite)

- b) Protocole d'Expérimentation 30.09.63

Conditions identiques à la précédente série d'essais, aux différences près suivantes :

- Hydrologie : - eau de la source du Lez légèrement plus riche en  $\Sigma \text{CO}_2$   
( $/\text{CO}_2/$  : 1,9 -  $/\text{HCO}_3^-/$  : 5,7) ;  
- exposition de l'élevage à la lumière du jour : fenêtre orientée au Nord.

- Biocoenose : - A une température légèrement moindre, population mixte en proportions égales des deux espèces D. gonocephala (12/14 mm) et D. subtentaculata (8/10 mm) ; toutes deux récoltées à la source du Buis.

- Conduite de l'Expérience et résultats :

- La réduction de calibre du pont de communication AB s'opère très simplement en n'amorçant qu'un seul des deux siphons couplés, dont il résulte une section utile inférieure à 1 cm<sup>2</sup> (probabilité pour une Planaire de trouver cette porte de sortie : 0,00025).

- mise en évidence de l'influence accessoire du G. C. sur le plafonnement (géotropisme négatif) : tendance des Planaires à s'immobiliser sous le couvercle des cristallisoirs ; les pourcentages indiqués ici, tout comme les indices d'activités, sont évidemment relatifs au nombre de Planaires décompté dans le cristallisoir observé et non, comme dans le tropisme, à la population totale de l'ensemble.

(tabl. 25-b)

| EXP. 30,09, 63      |                                                                                                                             | Durée<br>en J.             | Hydrologie $\frac{A}{B}$ (finale) |                               |                                  | Tropisme $\frac{A}{B}$ |                     |                     | Plafonnement $\frac{A}{B}$                             |                                                                            | Excitabilité<br>Activité<br>(en fin d'essai) | Vitalité<br>(fission, morbidité<br>mortalité)                              | Remarques                                                                                                                              |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gradient carbonique |                                                                                                                             |                            | T°                                | /CO <sub>2</sub> /            | /HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> / | N                      | % Σ                 | (K)                 | (N et % N)                                             |                                                                            |                                              |                                                                            |                                                                                                                                        |
| 1                   | - Ventilation permanente <u>forte</u><br>de B                                                                               | 3                          | 18°                               | eau incrustante en B          |                                  |                        | $\frac{31}{9}$      | $\frac{77,5}{22,5}$ | 3,44                                                   |                                                                            |                                              | 2 fissions en A                                                            | <u>Jeûne</u> préalable<br>d'une semaine.                                                                                               |
| 2                   | - id -                                                                                                                      | 1                          | $\frac{19°2}{18°8}$               | eau B incrustante             |                                  |                        | $\frac{26}{14}$     | $\frac{65}{35}$     | 1,85                                                   | A = plus de 75 %<br>B = moins de 10 %                                      | A = 26 %<br>B = 14 %                         |                                                                            | <u>Repas</u>                                                                                                                           |
| 3                   | - id -                                                                                                                      | 2                          | $\frac{20°0}{19°8}$               | $\frac{1,25}{0,40}$           | $\frac{5,05}{4,25}$              | $\frac{27}{13}$        | $\frac{67,5}{32,5}$ | 2,08                | $\frac{26}{2}$ soit 95 %<br>$\frac{2}{2}$ soit 15 %    | A > B                                                                      |                                              | 2 fissions en A                                                            |                                                                                                                                        |
| 4                   | - id -<br>Arrêt de l'agitateur en A.                                                                                        | 1                          | Eau B incrustante                 |                               |                                  | $\frac{19}{19}$        | $\frac{50}{50}$     | (1,00)              | $\frac{8}{3}$ soit 42 %<br>$\frac{3}{3}$ soit 16 %     | A = 47 % (8)<br>B = 0 % (0)                                                |                                              |                                                                            | <u>Repas</u>                                                                                                                           |
| 5                   | - Ventilation permanente <u>forte</u> de B<br>- réduction de 50 % de la section<br>du pont de communication entre A<br>et B | 3                          | $\frac{20°5}{20°5}$               | $\frac{1,85}{0,40}$           | $\frac{5,60}{3,25}$              | $\frac{26}{12}$        | $\frac{68}{32}$     | 2,12                | $\frac{21}{0}$ soit 80 %<br>$\frac{0}{0}$ soit 0 %     | A +<br>B 0                                                                 |                                              | A = 2 morts, 4 fis-<br>sions, plusieurs<br>ulcères<br>B = 1 fission        | Moindre diffusion<br>entre A et B<br>(pour O <sub>2</sub> aussi)                                                                       |
| 6                   | - Même réduction de 50 % du pont<br>- Ventilation doublée en B<br>(2 micropompes)                                           | 1                          | $\frac{16°2}{17°5}$               | $\frac{1,80}{0,25}$           | $\frac{5,55}{3,35}$              | $\frac{29}{11}$        | $\frac{72}{28}$     | 2,63                | $\frac{18}{0}$ soit 62 %<br>$\frac{0}{0}$ soit 0 %     | Après changement<br>d'eau :<br>A = 95 % - B = 25 %<br>Avant : A=10%(3)-B=0 |                                              | 2 fissions en A                                                            | Moindre mélange AB                                                                                                                     |
| 7                   | - B initial enrichi de 150 ml<br>d'eau de chaux, puis couvercle<br>sans ventilation.                                        | 2<br>(1è h)                | $\frac{20°5}{20°5}$               | $\frac{2,10/1,70}{0,55/1,20}$ | $\frac{5,70/5,70}{6,30/5,60}$    | $\frac{17}{23}$        | $\frac{42,5}{57,5}$ | (0,74)              | $\frac{13}{14}$ soit 76 %<br>$\frac{14}{14}$ soit 61 % | A ≠ B                                                                      |                                              | 2 fissions en A et<br>plusieurs ulcérations<br>- toutes malades<br>A et B. | - <u>Jeûne</u> depuis 8 j.<br>- oxygénation égale<br>en A et B<br>- inversion initiale<br>du gradient /HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> / |
| 8                   | - Ventilation de B durant 1 h.,<br>puis couvercle, sans ventila-<br>tion.                                                   | moins<br>de 1 J.<br>(1è h) | $\frac{20°5}{20°5}$               | $\frac{1,75/1,50}{0,68/0,85}$ | $\frac{5,70/5,70}{5,70/5,45}$    | $\frac{22}{18}$        | $\frac{55}{45}$     | (1,22)              | $\frac{16}{4}$ soit 73 %<br>$\frac{4}{4}$ soit 22 %    | Après 12 h.<br>A ≠ B (25 %)                                                |                                              | Plaies et ulcéra-<br>tions A<br>Bonne santé en B                           |                                                                                                                                        |

(tableau 25-b)

- 54 -

Tableaux 25 : Tropisme dans le G.C. (suite et fin)

- c) Protocole d'Expérimentation 19.11.63

même principe que ci-devant, MAIS ...

- Hydrologie : - source Rigal (St Guilhem) :  $13^{\circ}\text{O}$  -  $\text{CO}_2/ = 0,6$  -  $\text{HCO}_3^-/ = 4,5$  - légèrement enrichie (5%) par une macération de fer.

- installation à l'extérieur, sans agitation magnétique : lumière du jour (indirecte), eurythermie froide et intempéries diverses...

- Biocoenose : - par cristallisateur, 20 P. felina (8/10 mm) et 6 Gammarus sp. du Verdus - jeûne presque complet pendant la durée des essais (4 semaines).

- Conduite de l'Expérience et résultats :

- A signaler : un contact avec la paroi, parfois défectueux, du siphon de communication (déplacement par le vent).

- La morbidité et la mortalité élevées des Planaires conduisent à un renouvellement très large de la population : près de 50 % après chaque essai.

- influence comparée sur les Planaires et les Gammarus, d'un G. C. (sans agitation et à basse température) : effets physiologique (tropisme, activité) et biologique (morbidité, mortalité).

\*

(tabl. 25-c)

| EXP. 19,11,63 |                                                                                                                                         | Hydrologie $\frac{A}{B}$ (finale) |                                          |                                           | Tropisme                              |                                          | Observations P. felina |                                                                                                                               | Observations Gammarus                                                           |                                                                                                                                                                                               | Remarques |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Es-<br>ais    | Gradient carbonique                                                                                                                     | Durée<br>en J.                    | T°<br>▼                                  | /CO <sub>2</sub> /<br>▼                   | /HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /<br>▼ | Planaires<br>N (K)                       | Gammarus<br>N (K)      |                                                                                                                               |                                                                                 |                                                                                                                                                                                               |           |
| ①             | - B initial enrichi de 70 ml eau de chaux, puis aération, sans couvercle.<br>- Temps sec et frais.                                      | 4<br>(1è h)                       | 11 <sup>02</sup><br>↘<br>7 <sup>05</sup> | $\frac{0,62}{0,15}$ / $\frac{0,56}{0,10}$ | $\frac{4,45}{4,30}$                   | $\frac{19}{21}$ / $\frac{20}{20}$ (1,00) | $\frac{8,5}{3,5}$ 2,42 | A = 20 Bonne santé (BS)<br>B = 4 à 5 assez bonne santé (ABS)<br>le reste mort ou mourant                                      |                                                                                 | Surconcentration initiale /HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> / en B                                                                                                                               |           |
| ②             | - Aération permanente de B (sans couvercle) par contact avec l'atmosphère.<br>- Temps sec et frais.                                     | 4<br>(3è j)                       | 7 <sup>05</sup>                          | $\frac{0,55}{0,24}$ / $\frac{0,56}{0,17}$ | $\frac{4,45}{4,30}$                   | $\frac{20}{20}$ (1,00)                   | $\frac{7}{5}$ 1,40     | A = TBS, sauf 2 ulcérées<br>B = 12 léthargiques ± érodées, 4 mortes et 4 mourantes                                            | A = alertes et vifs<br>B = 1 mort mangé, le reste lent                          |                                                                                                                                                                                               |           |
| ③             | - Ventilation initiale de B plusieurs heures, puis aération permanente.<br>- Temps sec et frais.                                        | 3                                 | 7 <sup>05</sup>                          | $\frac{0,50}{0,12}$                       | $\frac{4,40}{4,40}$                   | $\frac{20}{20}$ (1,00)                   | $\frac{8}{4}$ 2,00     | A = 15 actives TBS + 5 lentes peu vives<br>B = 3 actives BS, 10 léthargiques ou mourantes, 7 mortes                           | A = vifs et actifs<br>B = lents, peu vifs                                       | Morts et malades avec "tête érodée"                                                                                                                                                           |           |
| 4             | - Ventilation + aération comme(3)<br>- Temps très doux et pluvieux                                                                      | 4                                 | 14 <sup>00</sup>                         | $\frac{0,53}{0,08}$                       | $\frac{4,30}{3,85}$                   | $\frac{23}{17}$ 1,35                     | $\frac{10}{2}$ 5,00    | A = 4 à 5 lentes, reste vif et excitable-TBS<br>B = 4 à 5 vives, reste léthargique                                            | A = vifs, accouplés<br>B = inertes                                              | Minimum de morts pour essais 4 et 5 = influence létale du froid                                                                                                                               |           |
| ⑤             | - Ventilation + aération comme(3)<br>- Temps pluvieux, refroidi les deux derniers jours.                                                | 5                                 | 13 <sup>00</sup><br>↘<br>7 <sup>00</sup> | $\frac{0,55}{0,09}$                       | $\frac{4,25}{4,25}$                   | $\frac{20}{19}$ (1,05)                   | $\frac{9}{3}$ 3,00     | A = TBS, vivaces, gonflées de nourriture<br>B = BS, plus lentes qu'en A nombreuses érodées ou léthargiques                    | A = nombreux excréments<br>B = pas d'excréments                                 | Excréments de Gammarus consommés par les Planaires.                                                                                                                                           |           |
| 6             | - Ventilation + aération comme(3)<br>- Temps à nouveau doux et pluvieux (voisin de 10°) - brusque tendance au gel les 2 derniers jours. | 5                                 | 10 <sup>00</sup><br>↘<br>0 <sup>04</sup> | $\frac{0,35}{0,08}$                       | $\frac{3,65}{4,15}$                   | $\frac{22}{18}$ 1,22                     | $\frac{7}{5}$ 1,40     | A = aucun mort malgré glace 70 % excitables, quelques têtes érodées<br>B = 2 excitables, 7 léthargiques ou mourantes, 9 morts | A = très vifs - excréments<br>B = 1 ou 2 inertes, reste lent - pas d'excréments | - B plus protégé de la pluie que A, d'où moins de dilution /HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /<br>- Croûte de glace de 0,5 cm ; 4 planaires emprisonnées, vivantes après réchauffement très lent |           |

Tableau 26 : Comportement Sensitivo-Moteur dans le G.C.  
(d'après le journal d'Expérimentation 10.09.63 -  
Annexe XIII).

- Hydrologie : la décarbonisation par la chaux assure en (A) et (B) (amont-aval) même oxygénation initiale, de l'ordre de 75 % sat.
- Biologie : 10 P. felina et 7 D. gonocephala par cristallisoir.

.../...

Tableau 26 : Comportement Sensitivo-Moteur dans le G. C. (suite)

- a) L'Excitabilité-Activité :

- Intensité conforme au G. C., indifférente ou inverse : (N : nombre absolu de cas par espèce, et % : pourcentage par rapport au total des observations durant la période considérée) :
  - ... très manifestement supérieure en eau d'amont (A), et pour P. felina surtout : rangée II (IV.VI.VIII) et colonne 2.
  - ... mêmes résultats quoique plus nuancés pour D. gonocephala ; ils s'affirment pourtant au fur et à mesure que la température s'abaisse : colonnes 4-8-12 (et 2).
- Nota : Ne pas oublier que les constats d'indifférence au G. C. de l'activité sont relatifs aux possibilités d'appréciation très rudimentaires de l'observateur ; toute méthode ou instrumentation qui élèverait le "pouvoir séparateur" de son oeil, amenuiserait d'autant cette catégorie intermédiaire "d'attente", au profit des deux catégories extrêmes, affirmées. L'interprétation des résultats doit en tenir compte, pour qui l'indifférence ne figure donc pas une troisième modalité de choix équivalente des deux autres, mais seulement une incapacité momentanée, soit pour la Planaire de marquer sa préférence, soit plutôt pour l'observateur d'entériner une affirmation trop discrète de cette préférence.

- b) le Plafonnement :

- (N : nombre absolu de Planaires de chaque espèce trouvées agrippées sous le couvercle en fin d'essai, et pourcentage par rapport à la population correspondante, pour la période considérée).
- Moindre ... - pendant le mois le plus froid (Déc. relativement à Oct. : rangées IV et VIII)
- ... - pour l'espèce la plus thermophile (D. gonocephala relativement à P. felina : colonnes 14-16 et 20-22)
- ... - hors des périodes de reproduction (pour D. gonocephala en (B) : Oct.-Déc. relativement à Nov. colonne 22, accessoirement 20)
  - c'est-à-dire quand la "demande" d'O<sub>2</sub> est au plus bas par rapport à "l'offre" :  
Influence de l'oxygénation.

Moindre plafonnement aussi dans l'eau décarbonisée de même oxygénation initiale (B relativement à A : rangées II, IV, VI, VIII), donc :  
Influence du Gradient Carbonique  
... directe de /CO<sub>2</sub>/, ou indirecte : par accroissement de la consommation d'O<sub>2</sub>

(tabl. 26)

| EXP. 10,09,63   |                  | CONSTATS D'EXCITABILITE-ACTIVITE |    |       |    |       |    | Nombre de Planaires en PLAFONNEMENT |                |                |                |                |                |
|-----------------|------------------|----------------------------------|----|-------|----|-------|----|-------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Date            | Tempé-<br>rature | A > B                            |    | A = B |    | A < B |    | F <sub>A</sub>                      | G <sub>A</sub> | Σ <sub>A</sub> | F <sub>B</sub> | G <sub>B</sub> | Σ <sub>B</sub> |
| ▼               | ▼                | F                                | G  | F     | G  | F     | G  |                                     |                |                |                |                |                |
| SEP. 63         | 18               | 0                                |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 | 20               | 0                                | 0  |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 | 22               | 0                                | 0  |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 | 25               | 0                                | 0  |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 | 28               | 0                                |    |       | 0  |       |    |                                     |                |                |                |                | 4              |
|                 | 2                | 0                                |    |       | 0  |       |    | 6                                   | 0              | 6              | 0              | 1              | 1              |
|                 | 5                | 0                                |    |       | 0  |       |    | 3                                   | 1              | 4              | 1              | 0              | 1              |
| OCT. 63         | 1705             | 0                                |    |       | 0  |       |    | 10                                  |                | 10             |                |                | 2              |
|                 | 1702             | 0                                |    |       | 0  |       |    | 5                                   | 5              | 10             | 4              | 1              | 5              |
|                 | 1605             | 0                                |    |       |    |       |    | 4                                   | 6              | 10             | 3              | 3              | 6              |
|                 | 12               | 0                                |    |       |    |       |    | 3                                   | 3              | 6              | 5              | 1              | 6              |
|                 | 14               | 0                                |    |       |    |       |    | 3                                   | 0              | 3              | 3              | 1              | 4              |
|                 | 16               | 0                                |    |       | 0  |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 | 19               | 0                                |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
| NOV. 63         | 21               | 0                                |    |       |    | 0     |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 | 23               | 0                                |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 | 25               |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 | 26               | 0                                |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 | 28               |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 | 30               |                                  |    |       | 0  |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 | 31               |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
| NOV. 63         | 6                |                                  |    |       |    |       |    | 4                                   | 0              | 4              | 0              | 5              | 5              |
|                 | 7                |                                  |    |       |    |       |    | 6                                   | 0              | 6              | 4              | 0              | 4              |
|                 | 9                |                                  |    |       |    |       |    | 5                                   | 1              | 6              | 3              | 6              | 9              |
|                 | 13               |                                  |    |       |    |       |    | 3                                   | 1              | 4              | 6              | 5              | 11             |
|                 | 16               | 0                                |    |       | 0  |       |    | 4                                   | 1              | 5              | 2              | 0              | 2              |
|                 | 18               | 0                                |    |       |    |       |    | 3                                   | 1              | 4              | 4              | 0              | 4              |
|                 | 20               |                                  |    |       |    |       |    | 4                                   | 1              | 5              | 5              | 0              | 5              |
| DEC. 63         | 23               | 0                                | 0  |       |    |       |    | 2                                   | 1              | 3              | 4              | 4              | 8              |
|                 | 25               | 0                                |    |       |    |       |    | 3                                   | 1              | 4              | 3              | 0              | 3              |
|                 | 27               | 0                                | 0  |       |    |       |    | 4                                   | 0              | 4              | 2              | 1              | 3              |
|                 | 30               | 0                                | 0  |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 | 4                | 0                                |    |       |    |       |    | 5                                   | 0              | 5              | 1              | 1              | 2              |
|                 | 7                | 0                                |    |       |    |       | 0  |                                     |                | 2              |                |                | 0              |
|                 | 9                | 0                                | 0  |       |    |       | 0  |                                     |                |                |                |                |                |
| JAN. 64         | 11               |                                  |    |       |    |       |    | 7                                   | 2              | 7              | 2              | 1              | 3              |
|                 | 14               |                                  |    |       |    |       |    | 6                                   | 1              | 6              | 2              | 2              | 4              |
|                 | 16               |                                  |    |       |    |       |    | 4                                   | 1              | 4              | 1              | 1              | 2              |
|                 | 18               |                                  |    |       |    |       |    | 6                                   | 2              | 8              | 3              | 0              | 3              |
|                 | 21               |                                  |    |       |    |       |    | 3                                   | 1              | 4              | 1              | 1              | 2              |
|                 | 24               |                                  |    |       |    |       |    | 3                                   | 2              | 5              | 0              | 0              | 0              |
|                 | 28               | 0                                | 0  |       |    |       |    | 1                                   | 1              | 2              | 1              | 0              | 1              |
| JAN. 64         | 2                | 0                                |    |       |    |       |    | 2                                   | 1              | 3              | 1              | 1              | 2              |
|                 | 4                | 0                                |    |       |    |       |    | 2                                   | 2              | 4              | 3              | 0              | 3              |
|                 | 9                | 0                                | 0  |       |    |       |    | 2                                   | 0              | 2              | 1              | 0              | 1              |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
| Total TRIMESTRE | N                | 29                               | 15 |       |    |       |    | 99                                  | 35             | 155            | 65             | 35             | 106            |
|                 | %                | 97                               | 65 |       |    |       |    | 37                                  | 19             | 30             | 24             | 19             | 21             |
| Sep. OCT.       | N                | 13                               | 3  | 1     | 5  | 0     | 1  | 24                                  | 15             | 58             | 16             | 7              | 29             |
|                 | %                | 93                               | 33 | 7     | 56 | 0     | 11 | 40                                  | 36             | 43             | 27             | 17             | 21             |
| NOV.            | N                | 5                                | 3  | 0     | 1  | 0     | 0  | 38                                  | 7              | 45             | 33             | 21             | 54             |
|                 | %                | 100                              | 75 | 0     | 25 | 0     | 0  | 38                                  | 10             | 27             | 33             | 30             | 32             |
| DEC. jan.       | N                | 11                               | 9  | 0     | 0  | 0     | 1  | 37                                  | 13             | 52             | 16             | 7              | 23             |
|                 | %                | 100                              | 90 | 0     | 0  | 0     | 10 | 34                                  | 17             | 25             | 15             | 9              | 11             |
| Colonnes :      |                  | 1                                | 2  | 3     | 4  | 5     | 6  | 7                                   | 8              | 9              | 10             | 11             | 12             |
|                 |                  | EXCITABILITE - ACTIVITE          |    |       |    |       |    | PLAFONNEMENT                        |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |
|                 |                  |                                  |    |       |    |       |    |                                     |                |                |                |                |                |

Tableau 27 : Métabolisme dans le G. C.

- a) Exp. 24.08.62 : (eau d'aval ventilée, eau d'amont recarbonisée après ventilation).

- Le contrôle au cours de cet élevage de l'enrichissement respiratoire en  $\text{CO}_2$  (d'un changement d'eau à l'autre, différence entre les teneurs initiale et terminale) révéla en (B) des combustions moindres qu'en (A).

- Résultats disparates, mais significatifs tout de même : la moyenne des indices métaboliques (relatifs) de (B), quotient des augmentations respectives  $\frac{d\text{CO}_2(\text{B})}{d.\text{CO}_2(\text{A})}$ , se situait autour de 50 % (A : base 100).

- b) Exp. 25.10.63

- Série d'essais systématiques et non plus élevage quelconque ; on y modifie successivement plusieurs des caractéristiques hydrologiques ou biologiques.

- Il se confirme que le métabolisme serait en aval relativement moins intense, avec un indice d'autant plus bas dans l'ensemble que la décarbonisation y est plus achevée : essais ( - ) avec  $/\text{CO}_2/\text{B} < 0,20$  mé.

- La chute de cet indice métabolique au long du G. C. serait cependant proportionnellement moindre au début qu'en fin de décarbonisation lorsque l'eau voisine l'équilibre  $\text{CO}_2 - \text{CO}_3\text{Ca}...$  et l'incrustation : l'indice moyen relatif de (B), pour les essais (+) avec 44 % du  $\text{CO}_2$  initial, est à 55 (60) % de (A) ; il tombe à 23 % (20 %), moins de la moitié, avec les essais ( - ) où  $/\text{CO}_2/\text{B}$  s'abaisse à 27 % de (A).

Nota : Les essais considérés comme douteux pour comporter en final des Planaires mortes, figurent entre parenthèses (dito les moyennes incluant ces essais).

| EXP. 25,10,63 |                  |               | TECHNOLOGIE<br>$\frac{A}{B}$ = amont<br>B = aval                                         | Hydrologie initiale<br>$\frac{A}{B}$ |       | Durée<br>en J.      | Enrichissement<br>terminal<br>$\frac{d/CO_2}{\frac{A}{B}}$ | Indice métabolique B<br>(A : base 100) | Décarbonisation           |                              | Remarques |                           |                                                                                                                                                                                                                                        |
|---------------|------------------|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------|---------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------|------------------------------|-----------|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ESSAIS        | Espèces          | PLANAIRES Lot |                                                                                          | Agit.                                | Temp. |                     |                                                            |                                        | $\frac{CO_2}{\downarrow}$ | $\frac{HCO_3^-}{\downarrow}$ |           | $\frac{CO_2}{B} \geq 0,2$ | B % de A                                                                                                                                                                                                                               |
| 1             | 10 P. felina     |               | A = fontaine du Four à l'émergence<br>B = décarbonisée par eau de chaux (5 %)            | 0                                    | 15°2  | $\frac{0,57}{0,19}$ | $\frac{4,60}{4,80}$                                        | 2                                      | $\frac{0,13}{0,03}$       | 23 %                         | -         | 33                        | <div>MOYENNES :<br/>... essais (+) :<br/><math>\frac{CO_2}{B} = 44</math> % de A<br/>Métabolisme B = 55 % de A (60 %)<br/><br/>... essais (-) :<br/><math>\frac{CO_2}{B} = 27</math> % de A<br/>Métabolisme B = 23 % de A (20 %)</div> |
| 2             | 10 P. felina     |               | A = fontaine du Four à l'émergence<br>B = décarbonisée par ventilation (1 H)             | 0                                    | 15°0  | $\frac{0,62}{0,31}$ | $\frac{4,60}{4,60}$                                        | 1                                      | $\frac{0,025}{0,020}$     | 80 %                         | +         | 50                        |                                                                                                                                                                                                                                        |
| 3             | 10 P. felina     | n° 1          | A = fontaine Rigal à l'émergence<br>B = + ventilation (45')                              |                                      | 17°0  | $\frac{0,60}{0,43}$ | $\frac{4,45}{4,45}$                                        | 1,5                                    | $\frac{0,020}{0,015}$     | 75 %                         | +         | 72                        |                                                                                                                                                                                                                                        |
| 4             | 10 P. felina     |               | A = Rigal<br>B = + ventilation (3 H)                                                     | +                                    | 16°5  | $\frac{0,67}{0,15}$ | $\frac{4,45}{4,45}$                                        | 2                                      | $\frac{0,05}{0,02}$       | 40 %                         | -         | 22                        |                                                                                                                                                                                                                                        |
| 5             | 10 P. felina     |               | A = Rigal<br>B = + eau de chaux (5 %)                                                    | +                                    | 16°0  | $\frac{0,66}{0,15}$ | $\frac{4,45}{4,65}$                                        | 2                                      | $\frac{0,10}{0,02}$       | 20 %                         | -         | 23                        |                                                                                                                                                                                                                                        |
| 6             | 8 D. gonocephala |               | A = Rigal<br>B = + eau de chaux (7 %)                                                    | +                                    | 15°5  | $\frac{0,61}{0,18}$ | $\frac{4,45}{4,60}$                                        | 2                                      | $\frac{0,06}{0,01}$       | 17 %                         | -         | 30                        |                                                                                                                                                                                                                                        |
| 7             | 8 D. gonocephala | n° 2          | A = Rigal<br>B = + ventilation (3 H)                                                     | +                                    | 14°5  | $\frac{0,69}{0,15}$ | $\frac{4,45}{4,35}$                                        | 2                                      | $\frac{0,06}{0,01}$       | 17 %                         | -         | 22                        |                                                                                                                                                                                                                                        |
| 8             | 8 D. gonocephala |               | A = Rigal<br>B = + eau de chaux (5 %)                                                    | +                                    | 15°0  | $\frac{0,72}{0,23}$ | $\frac{4,45}{4,60}$                                        | 2                                      | $\frac{0,08}{0,01}$       | 12 %                         | +         | 32                        |                                                                                                                                                                                                                                        |
| 9             | 8 D. gonocephala |               | A = Rigal<br>B = + ventilation (3 H)                                                     | +                                    | 14°0  | $\frac{0,60}{0,19}$ | $\frac{4,45}{4,45}$                                        | 3                                      | $\frac{0,28}{0,06}$       | 21 %                         | -         | 32                        |                                                                                                                                                                                                                                        |
| 10            | 10 P. felina     |               | A = Rigal<br>B = + ventilation (1 H)                                                     | +                                    | 14°0  | $\frac{0,60}{0,36}$ | $\frac{4,45}{4,45}$                                        | 2                                      | $\frac{0,09}{0,05}$       | 55 %                         | +         | 60                        |                                                                                                                                                                                                                                        |
| 11            | 10 P. felina     | n° 3          | A = Rigal<br>B = + ventilation (3 H)                                                     | +                                    | 13°5  | $\frac{0,65}{0,20}$ | $\frac{4,45}{4,45}$                                        | 2,5                                    | $\frac{0,11}{0,10}$       | (91) %                       | (+)       | 31                        |                                                                                                                                                                                                                                        |
| 12            | 10 P. felina     |               | A = Rigal<br>B = + eau de chaux (5 %)                                                    | +                                    | 13°0  | $\frac{0,60}{0,24}$ | $\frac{4,45}{4,60}$                                        | 2                                      | $\frac{0,060}{0,045}$     | 75 %                         | +         | 40                        |                                                                                                                                                                                                                                        |
| 13            | 10 P. felina     |               | A = Rigal<br>B = + eau de chaux (5 %)                                                    | +                                    | 13°2  | $\frac{0,57}{0,20}$ | $\frac{4,50}{4,65}$                                        | 2                                      | $\frac{0,06}{0,03}$       | 50 %                         | +         | 35                        |                                                                                                                                                                                                                                        |
| 14            | 10 P. felina     | n° 4          | A = Rigal<br>B = + ventilation (3 H)                                                     | +                                    | 13°2  | $\frac{0,60}{0,22}$ | $\frac{4,50}{4,50}$                                        | 2                                      | $\frac{0,06}{0,035}$      | (58) %                       | (+)       | 37                        |                                                                                                                                                                                                                                        |
| 15            | 10 P. felina     | n° 5          | A+ = R. ventilée (3 H)<br>+ 13 ml CO <sub>2</sub><br>B = ventilation (3 H)               | +                                    | 13°0  | $\frac{0,67}{0,16}$ | $\frac{4,45}{4,45}$                                        | 2                                      | $\frac{0,12}{0,02}$       | (17) %                       | (-)       | 24                        |                                                                                                                                                                                                                                        |
| 16            | 10 P. felina     | n° 6          | A+ = R. ventilée (3 H)<br>+ 10 ml CO <sub>2</sub><br>B = ventilation (3 H)               | +                                    | 12°0  | $\frac{0,50}{0,16}$ | $\frac{4,45}{4,45}$                                        | 2,5                                    | $\frac{0,10}{0,02}$       | (20) %                       | (-)       | 32                        |                                                                                                                                                                                                                                        |
| 17            | 10 P. felina     | n° 7          | A+ = R. ventilée 3 H + 10 ml CO <sub>2</sub> + Fe <sup>++</sup><br>B = ventilation (3 H) | +                                    | 10°0  | $\frac{0,54}{0,18}$ | $\frac{4,45}{4,45}$                                        | 2,5                                    | $\frac{0,045}{0,005}$     | (11) %                       | (-)       | 33                        |                                                                                                                                                                                                                                        |
| 18            | 10 P. felina     | n° 8          | - id. -                                                                                  | +                                    | 10°5  | $\frac{0,56}{0,15}$ | $\frac{4,45}{4,45}$                                        | 2                                      | $\frac{0,030}{0,005}$     | (17) %                       | (-)       | 27                        |                                                                                                                                                                                                                                        |
| 19            | 10 P. felina     | n° 9          | A = source du Buis à l'émergence<br>B = + ventilation (2 H 15)                           | +                                    | 10°5  | $\frac{1,33}{0,41}$ | $\frac{5,15}{5,05}$                                        | 2,5                                    | $\frac{0,05}{0,02}$       | 40 %                         | +         | 31                        |                                                                                                                                                                                                                                        |

(tabl. 27-b)

(tabl. 27-a)

| Exp. 24.08.62<br>Date analyse<br>(finale) | Tempéra-<br>ture | Taux<br>initial<br>/CO <sub>2</sub> /A<br>B | Durée<br>(en J.) | Enrichis-<br>sment<br>final<br>d/CO <sub>2</sub> /A<br>B | Indice<br>métabolique de<br>B (en % de A) |
|-------------------------------------------|------------------|---------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 25 VIII                                   | 24°0             | $\frac{0,30}{0,11}$                         | 0,5              | $\frac{0,10}{0,02}$                                      | 20                                        |
| 27 VIII                                   | 24°0             | $\frac{0,35}{0,07}$                         | 1,5              | $\frac{0,15}{0,11}$                                      | 75                                        |
| 28 VIII                                   | 23°0             | $\frac{0,31}{0,08}$                         | 1,5              | $\frac{0,29}{0,15}$                                      | 52                                        |
| 29 VIII                                   | 23°0             | $\frac{0,30}{0,14}$                         | 0,5              | $\frac{0,06}{0,05}$                                      | 83                                        |
| 31 VIII                                   | 24°0             | $\frac{0,64}{0,09}$                         | 2                | $\frac{0,41}{0,19}$                                      | 46                                        |
| 3 IX                                      | 24°0             | $\frac{0,30}{0,07}$                         | 3                | $\frac{0,60}{0,21}$                                      | 35                                        |
| Moyenne                                   |                  | $\frac{0,37}{0,09}$                         |                  | $\frac{0,27}{0,12}$                                      | 45 %                                      |

Tableau 28 : Mortalité dans le G. C. (Exp. 12.09.62)

- Mise en parallèle de 12 élevages identiques sauf la température (l'éclairage, l'agitation), l'oxygène dissous et le G. C. (CO<sub>2</sub>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Fe<sup>++</sup>).
- A population constante (3 P. felina et 3 D. subtentaculata par bocal de 1 litre), comparaison des mortalités respectives "dans l'adversité" (manque d'oxygène, eau souillée et non agitée, températures défavorables pour l'espèce...).
- Résultats :
  - 1) Colonne A. action éventuelle du Fer : aucune conclusion.
  - 2) Colonne B. Influence du G. C. : à même oxygénation initiale (eaux aérées carboniques et décarbonisées) la mortalité apparaît bien moindre en amont qu'en aval. Cet effet protecteur des eaux carboniques se manifeste davantage à froid qu'à chaud (où la sous-oxygénation, gravissime en A, peut y estomper, voire contredire ces résultats : P. felina, rangées 6 et 11).
  - 3) Colonne C. exigences thermiques : différentes pour ces deux espèces d'amont et d'aval (cf. 1.2.3.), en harmonie avec leur distribution hydrographique et géographique.

| EXP. 12.09.62                      |                                     | HYDROLOGIE(Moyenne)                                                               |          | Nombre de morts et journées d'élevage - Planaires, INDICE : % de Mortalité / J.P |                                                                                                      |                                                                                                |                 |
|------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| N° d'élevage et sigle de référence | Eau d'élevage                       | T°c finale                                                                        | Initiale | ① Mortalité pour chaque élevage, par espèce F/S, et globale Σ .                  | ② Mortalité par catégorie d'eau (O <sub>2</sub> et CO <sub>2</sub> ), par espèce F/S, et globale Σ . | ③ Mortalité selon la température, par espèce F/S, et globale Σ .                               |                 |
| 1 - K.N                            | Source Naturelle non aérée          | Tempéré FROID=9° ± 1 (aval hiver) (obscurité, sans agitation)                     | 70 %     | 0,75                                                                             | F.1/37 = 2,7<br>S.4/36 = 11,1                                                                        | F.1/58 = 1,7<br>S.4/57 = 7,0<br>Σ -5/115 = 4,3                                                 | F.8/375 = 2,1   |
| 2 - K. NF                          | dito + Fer                          |                                                                                   |          |                                                                                  | F.0/21 = 0<br>S.0/21 = 0                                                                             |                                                                                                |                 |
| 3 - K.C                            | source aérée carbonique             | plus de 90%                                                                       | 1,00     | 0,10                                                                             | F.0/132 = 0<br>S.0,5/132 = 0,4                                                                       | F.1/192 = 0,5<br>S.0,5/192=0,3<br>G.C Σ -1,5/384=0,4<br>...amont.<br>...aval.<br>Σ -13/241=5,4 | S.11,5/365=3,2  |
| 4 - K. CF                          | dito + fer                          |                                                                                   |          |                                                                                  |                                                                                                      |                                                                                                |                 |
| 5 - K.A                            | source aérée décarbonisée           | 100%                                                                              |          |                                                                                  | F.6/125 = 4,8<br>S.7/116 = 6,0                                                                       |                                                                                                |                 |
| 6 - W.N                            | source Naturelle non aérée          | Tempéré CHAUD=20° ± 1 (aval Eté) (lumière du jour indirecte-agitation à mi-temps) | 70 %     | 0,75                                                                             | F.13/57 = 22,8<br>S.3/69 = 4,3                                                                       | F.20/99 = 20,2<br>S.3/120 = 2,5<br>Σ -23/219=10,5                                              | F.60/458 = 13,1 |
| 7 - W. NF                          | dito + fer                          |                                                                                   |          |                                                                                  | F.7/42 = 16,7<br>S.0/51 = 0                                                                          |                                                                                                |                 |
| 8 - W.C                            | source aérée carbonique             | plus de 90%                                                                       | 1,00     | 0,35                                                                             | F.10/139 = 7,2<br>S.3/130 = 2,3                                                                      | F.17/234=7,3<br>S.3/235 = 1,3<br>G.C Σ -20/469=4,3<br>...amont.<br>...aval.<br>Σ -34/260=13,1  | S.17/490= 3,5   |
| 9 - W. CF                          | dito + fer                          |                                                                                   |          |                                                                                  |                                                                                                      |                                                                                                |                 |
| 10 - W. CF                         | dito + fer, légèrement décarbonisée | 100 %                                                                             | 0,10     | 0,35                                                                             | F.0/39 = 0<br>S.0/39 = 0                                                                             | F.23/125=18,4<br>S.11/135=8,1                                                                  |                 |
| 11 - W.A                           | source aérée décarbonisée           |                                                                                   |          |                                                                                  |                                                                                                      |                                                                                                |                 |
| 12 - W. AF                         | dito + fer                          |                                                                                   |          |                                                                                  | F.5/15 = 33,4<br>S.3/18 = 16,7                                                                       | 8/33 = 24,2                                                                                    |                 |

(tabl. 28)

Figure 29 : Dégressivité de la Microflore dans le G. C.

Expérimentation sur deux végétaux, une Algue et une Hépatique, très différents mais ayant en commun la même caractéristique essentielle d'être asservis sans réserve pour leur alimentation minérale au bon plaisir du milieu aquatique ; situation submergée et absence de griffe radiculaire absorbante : ni l'air, ni le sol ne les peuvent assister.

- a) expérience 09.09.63 : Phormidium sp. (Cyanophycée, Oscillariale)

- 4 eaux de culture :

une "eau-mère" (A) recueillie à la source Rigal, carbonique et pauvre en fer (sol calcaire), et trois types dérivés B, A', B' ; on passe des eaux AB aux eaux A'B' par addition de fer (macération de laine d'acier), et de AA' à BB' par ventilation de quelques heures avec un aérateur. Le G. C. se trouve de la sorte dissocié en deux composantes perpendiculaires :

... variation du  $\text{CO}_2$  libre, selon un axe vertical et de haut en bas.

... variation du Fer dissous, selon un axe horizontal et de gauche à droite.

L'axe carbonique sépare, en vis-à-vis, deux types de G. C. qui correspondent à deux genres opposés de terrains d'origine lessivés par les eaux hypogées.

- la "cocarde "Algale" :

dégressive dans son ensemble en fonction du G. C.

MAIS ... hyper- ou hypotrophique suivant  $\text{CO}_2$  (en ordonnée)

... eu- ou dystrophique suivant  $\text{Fe}^{++}$  (en abscisse)

- b) expérience 01.06.63 : Aneura pinguis L. (Bryophyte, Hépatique)

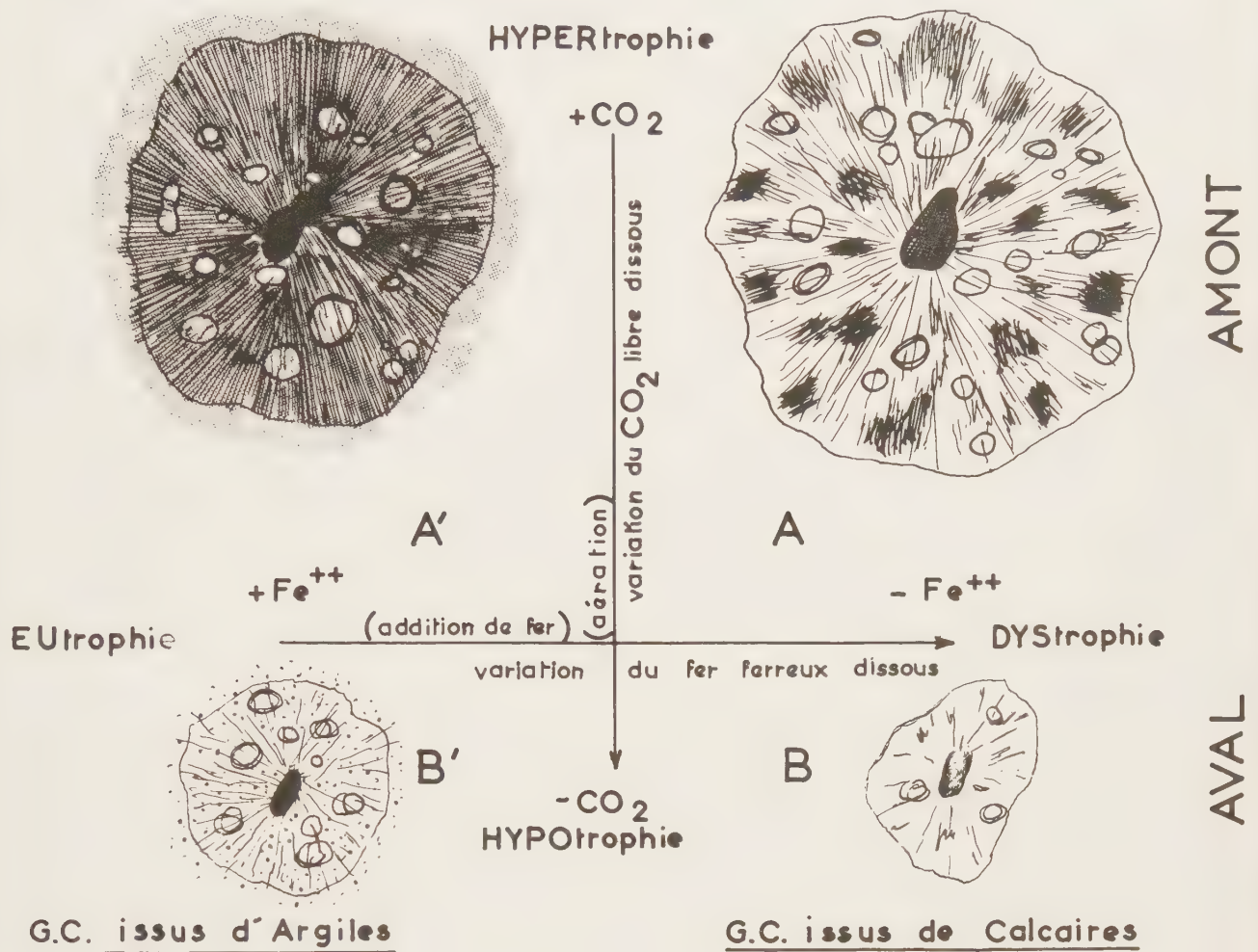
- 3 eaux d'Amont :

(A') enrichie en Fer, (A<sub>2</sub>) enrichie en  $\text{CO}_2$  et (A<sub>1</sub>) "eau-mère" naturelle, de la fontaine Rigal, moins riche de ces deux substances ; une seule eau d'aval (B), globalement appauvrie par ventilation.

- une croissance végétale :

dégressive ici encore, parallèle à l'appauvrissement hydrochimique du milieu : survie ou mort du "patriarche", agénésie ou développement des "rejetons".

Phormidium sp. = développement dans le G.C.



Aneura pinguis (L)

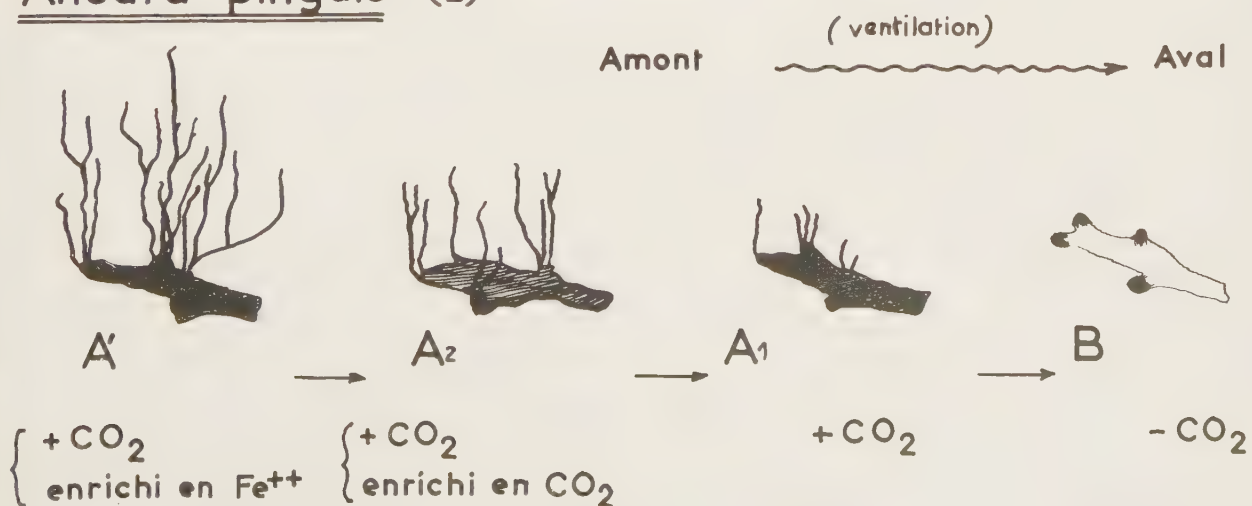


Fig. 29



A N N E X E S

---



ANNEXE I

DOSAGE DU  $\text{CO}_2$  LIBRE DISSOUS PAR ACIDIMETRIE EN RETOUR (abrégé)

- 1<sup>o</sup>) 200 ml d'eau "carbonique" à analyser sont additionnés de 10 ml de soude tartrée environ N/40 ( $\text{NaOH}$ , N/10 = 250 ml - tartrate double K + Na = 66 gr - eau distillée : q. s. p. 1 000 ml) de sorte que tout le  $\text{CO}_2$  libre dissous se retrouve combiné avec un excès de soude.

- 2<sup>o</sup>) Dans un second temps, ce mélange fortement alcalin, est titré par acidimétrie "en retour" ( $\text{HCl}$ , N/10) à pH final 8,20 - Réactif : phtaléine du phénol (à 1 % en solution alcoolique) virant de rose à incolore - Pour ce pH, la soude en excès est neutralisée et le  $\text{CO}_2$  libre initial réduit en totalité à l'état de bicarbonate, selon les réactions :



- 3<sup>o</sup>) Par différence avec le volume d' $\text{HCl}$  nécessaire au même dosage effectué sur eau exempte de  $\text{CO}_2$  (eau distillée bouillie), on en déduit la valeur du  $\text{CO}_2$  combiné à l'état de bicarbonate =  $(V_2 - V_1)$  ml.

- 4<sup>o</sup>) Résultats : à pH 8,20,  $\text{HCl}$  n'a libéré qu'un seul des deux  $\text{H}^+$  de l'acide carbonique (réaction 2) ; il en faudrait donc un volume double pour libérer l'acidité totale, et encore 5 fois plus (au total x 10) pour titrer un échantillon d'eau de 1 000 ml au lieu de 200 ml. Mais justement l'emploi d'une solution N/10 décuple les volumes d' $\text{HCl}$  nécessaires, relativement à une solution N. En définitive, d'un point de vue volumétrique, tout se passe comme si l'on dosait la totalité du  $\text{CO}_2$ , dans 1 litre d'eau, avec une solution titrante normale, contenant par définition même 1 équivalent d' $\text{H}^+$  par litre.

Ainsi chaque ml d'HCl, versé en moins dans l'eau à analyser par rapport à l'eau sans  $\text{CO}_2$  ( $V_2 - V_1$ ), correspond à 1 milliéquivalent/litre d'acidité carbonique, ou 22 milligr. de  $\text{CO}_2$ , ou 11,2 ml.

\*

## ANNEXE II

### RESULTATS COMPARES DE DIFFERENTES METHODES DE DETERMINATION DU CO<sub>2</sub> LIBRE

Le Tableau ( I ) joint\* permet la comparaison des résultats obtenus sur plusieurs séries d'eaux naturelles avec différentes méthodes de mesure : acidimétrique, graphique et volumétrique. Toutes, la première exceptée, supposent la détermination préalable du TAC ou même du pH.

#### Les Méthodes -

- 1) (H) : acidimétrie en retour selon la technique de HIRTZ et PIOGET (1937).

- 2) (C) : la même corrigée en fonction de la dureté en fin de dosage, suivant les indications de RODIER (1960) ou AFNOR (90-011).

- 3) (A) : la méthode mixte, acidimétrique et graphique que nous avons proposée.

- 4) (D) : méthode purement graphique utilisant l'abaque de DYE (1944), où  $/CO_2/$  se déduit du pH (à 25°) et de l'alcalinité (en mgr de CO<sub>3</sub>Ca).

- 5) (S) : où le CO<sub>2</sub> libre est obtenu par différence entre le CO<sub>2</sub> total dosé volumétriquement par l'appareil de Van SLYKE, et le CO<sub>2</sub> combiné (TAC) mesuré par titrimétrie.

#### Les Eaux -

Quatre séries de prélèvement effectués dans deux rivières et à différentes époques. Dureté élevée dans les deux cas : Lez 5,70 - Verdu 5,00 mg/l d'alcalinité. Mais la première est riche en produits siliceux et autres colloïdes (floculation accélérée en été), la seconde en est dépourvue. Les stations de prélèvement sont définies par leur

---

\* tableaux et figures Annexes, p. : 167 et suivantes.

éloignement de la source. (\*)

Résultats (tableau I, p. 167) :

- 1) Concordance correcte des résultats des trois méthodes acidimétrique (H), mixte (A) et graphique (D) dans la série "VERDUS-hiver" dépourvue de colloïdes siliceux, et pour les fortes teneurs en  $\text{CO}_2$ .

- 2) Pour les faibles teneurs par contre de la même série, l'acidimétrie (H) est en discordance : elle indique des taux nuls quand la théorie affirme le contraire (une solution pure de bicarbonates contient encore du  $\text{CO}_2$  libre :  $(\text{HCO}_3)_2\text{Ca} \rightleftharpoons \text{CO}_2, \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_3\text{Ca}$ ). Ici la correction (C) apparaît satisfaisante, ce qui était loin d'être le cas pour les fortes teneurs.

- 3) Dans les eaux du LEZ riches en produits siliceux, même physionomie générale selon le taux de  $\text{CO}_2$ , mais avec des écarts supérieurs de l'acidimétrie (H) : l'effet "tampon" des colloïdes minéraux aggrave encore celui des bicarbonates, facteurs d'imprécision ; on trouve ainsi des résultats franchement mauvais dans les eaux pauvres en  $\text{CO}_2$ , même avec la correction (C). La série "Août 61" fait exception : sans doute le ralentissement du débit, la température élevée et la précipitation calcaire accrue ont-ils conjointement clarifié l'eau en flocculant ses colloïdes de façon précoce.

- 4) La méthode volumétrique (S) ne saurait dépendre du taux de silice, et donne des résultats concordants pour les taux élevés, mais combien catastrophiques (valeurs négatives) avec les faibles concentrations : conséquence probable d'une erreur absolue identique, non proportionnelle aux teneurs dosées.

---

\* Annexe XI : nomenclature des stations-témoins.

- 5) En Bref...

- l'acidimétrie (H) paraît peu sûre pour les faibles concentrations, et très perturbée dans les eaux silicatées.
- l'acidimétrie corrigée (C) vaudrait seulement pour ces teneurs faibles, à condition que l'eau ne soit pas silicatée.
- le dosage volumétrique (S) serait exact seulement pour des teneurs fortes, sans parler de ses inconvénients nombreux.
- les deux méthodes graphiques (A et D) enfin permettent d'échapper aux influences fallacieuses des "tampons" salins et colloïdaux, particulièrement marquées dans les eaux pauvres en  $\text{CO}_2$ . Résultats superposables, des plus fidèles, quelles que soient les eaux et les concentrations. L'abaque de J.F. DYE fait faire l'économie des homogénéisations et de l'établissement des courbes étalons, avec en contrepartie une lecture plus délicate et divers calculs (correction du pH en fonction de la température, transformations milligrammes-milli-équivalents car dosages en mé et abaque graduée en mgr...). Dans notre méthode, la lecture est plus directe et les résultats, en mé, immédiats.



ANNEXE III

VARIATION DU pH ET DES DROITES ETALONS EN FONCTION  
DE LA TEMPERATURE

Lorsque la température varie, la dissociation varie également de l'acide carbonique, aussi bien que le pH, pour une teneur donnée ; nos droites étalons devaient donc théoriquement se trouver déplacées vers la gauche ou la droite. Restait à estimer l'importance effective de cette variation.

- 1) Selon SCHOELLER (1955), le pH d'une eau carbonique diminue de 0,018 pour une élévation de un degré (entre 0° et 30°), ce qui fait environ 0,10 pour 6 degrés de hausse. \*

- 2) Nous-même avons pratiqué quelques essais simples : une eau de source recueillie à l'émergence (fontaine du Four<sup>\*\*\*</sup> - St G.) était répartie entre plusieurs flacons clos sans espace libre, puis dispersée à des températures diverses observables dans les conditions naturelles. Mesure des pH au bout de 24 H. (les chiffres de température ne valent qu'à 1 ou 2 degrés près, en l'absence d'électrode thermostatique).

La variation du pH observé ici (tableau II<sub>a</sub>) était en moyenne inférieure à 0,01 par degré, de l'ordre de 0,05 pour 6 degrés, soit la moitié par conséquent de celle signalée par SCHOELLER (opérant à n'en pas douter dans de meilleures conditions expérimentales).

- 3) Avec les droites étalons enfin : cinq d'entre elles établies entre 9° et 14° (moyenne 12°), et cinq autres entre 17° et 22° (moyenne 18°), accusaient pour des taux semblables de CO<sub>2</sub> (0,10 et 1,00 mé/l) des différences moyennes de pH de 0,025 pour 6 degrés d'écart (0,004 par degré), le quart en définitive du chiffre de SCHOELLER (tableau II<sub>b</sub>).

---

\* pour plus de précision, voir : DYE (J.F.) 1952.

\*\* le 04.09.62 : /CO<sub>2</sub>/ = 0,55 mé/l - T.A.C. = 4,45 mé/l.

A quoi attribuer cette différence entre nos résultats et ceux de cet auteur, mis à part l'imperfection technique de notre expérimentation ? Effets contradictoires de l'élévation thermique sur l'ionisation de molécules acides  $\text{CO}_3\text{H}_2$ , et alcalines  $(\text{HCO}_3)_2\text{Ca}$  ? ou bien encore, la même baisse de température qui tend à élever le pH et par là à déplacer vers la droite la courbe étalon tendrait également à la déplacer vers la gauche : ralentissant en effet la vitesse des réactions chimiques, elle incite à verser (dans le mélange tamponné) un excès d'acide titrant, donc à sous-estimer les teneurs en  $\text{CO}_2$  ?

Quoi qu'il en soit, nos résultats expérimentaux étant ce qu'ils étaient, la différence de pH observée (de 0,03 pour 6 degrés d'écart) entraînait dans l'estimation de  $/\text{CO}_2/$  une imprécision inférieure au 1/10 du taux dosé. Mais deux courbes étalons établies à la même température présentent souvent entre elles des différences sensibles, dont découle une incertitude au moins égale, inhérente à la technique employée.

En pratique donc, avec au cours de l'année des températures extrêmes dans le laboratoire de 15° et 25°, trois séries de droites étalons nous ont paru amplement suffisantes, établies pour les températures suivantes : 16° ( $\pm 1$ ), 20° ( $\pm 1$ ) et 24° ( $\pm 1$ ).

ANNEXE IV

EAUX DE TRES FAIBLE SALINITE

La mesure électrométrique du pH devient imprécise sinon impossible dans une eau distillée ou trop pauvre en sels dissous : l'aiguille trop nerveuse s'affble et hésite à se fixer. Cette constatation justifiait l'emploi d'une solution étalon de référence dans notre méthode, mais posait encore le problème des eaux douces naturelles trop faiblement minéralisées : la méthode était elle praticable avec de telles eaux de résistivité élevée, fréquentes dans certaines catégories de terrains : cristallins, gréseux, argileux lessivés, etc...

Essai 2-3, 10, 63 : Nous pratiquons plusieurs brassages en présence de l'étalon pour mesure du dpH, sur une série d'échantillons constitués de la même eau de source, calcaire, diluée par des volumes croissants d'eau distillée.

Résultats (tableau III) :

- 1) à dilution croissante ( n° 1 à 5 ), l'aiguille du pHmètre oscille de plus en plus nerveusement, et se fixe difficilement. Plusieurs lectures successives sont encore fidèles pour l'échantillon n° 4 (TAC : 0,60), mais non plus pour le n° 5 (TAC : 0,25) : imprécision des mesures.
- 2) un second brassage par un air plus riche en  $\text{CO}_2$  donne dans les quatre premiers échantillons un même abaissement du pH ( $\text{pH}_1 - \text{pH}_2$ ) en rapport avec un même enrichissement en  $\text{CO}_2$ , et une même valeur du d pH que la première fois. Discordance par contre pour l'échantillon n° 5 : son d pH s'élève à chaque nouvelle équilibration, et un dosage terminal de contrôle de son TAC mettra en évidence la variation de ce dernier, probablement par dissolution de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  présent dans le diffuseur (cf. Annexe IX).

Conclusions pratiques : la méthode paraît applicable aux eaux de TAC supérieur à 0,50 mé. Au-dessous de ce chiffre : l'électrométrie devient imprécise, et l'eau trop faiblement minéralisée possède un pouvoir dissolvant direct élevé (\*) sur le calcaire (indépendant du  $\text{CO}_2$  mais accru évidemment par lui), d'où un plus grand risque d'erreurs ... ; la méthode donc perd de sa sûreté, mais aussi une de ses justifications majeures : l'imprécision due aux bicarbonates en voie de disparaître, et l'on peut pratiquer avec de meilleurs résultats l'acidimétrie directe.

\*

---

(\*) Cf. FRANQUIN et MARECAUX (1938) : agressivité au marbre d'une eau sans  $\text{CO}_2$  de très faible alcalinité.

ANNEXE V

VARIATION DE  $/CO_2/$  DANS UNE EAU "INCRUSTANTE"  
AU COURS DU STOCKAGE(\*)

Essais (27 et 31.10.62) :

Deux eaux de source différentes, bicarbonatées calciques, sont débarassées de leur  $CO_2$  libre par une ventilation de plusieurs heures (aérateur d'aquarium et diffuseur) ; chacune répartie en trois lots sera conservée au laboratoire à 14/15° en bouteilles closes sans espace libre. Sur chaque lot, mais après des durées différentes : détermination du pH, du TAC, de  $/CO_2/$  enfin par la méthode graphique.

Résultats : (Tableau IV)

Mise en évidence de la variation : baisse du pH et des bicarbonates alcalino-terreux, très légère progression du  $CO_2$  libre.

Si l'on considère cependant le cas extrême (27-X) : eau d'alcalinité élevée (4,40), très déséquilibrée ( $pH > 8,50$ ) et conservée 4 jours, la variation mesurée de la teneur en  $CO_2$  (0,03 mé/1) est du même ordre de grandeur que l'imprécision admise pour la méthode. Elle est bien moindre dans les conditions préconisées d'une conservation des prélèvements inférieure à 24 heures (essai du 31.X). Dans ce dernier cas, la moindre richesse en calcaire a sans doute aussi contribué en même temps que la courte durée du stockage à limiter la variation.

Quoiqu'il en soit, nous avons cru pouvoir négliger cette cause de sur-estimation du  $CO_2$ , la mentionnant tout au plus dans l'expression des résultats de la façon suivante :  $/CO_2/ \leq x$  (chiffre mesuré) ; ce qui voulait traduire moins l'éventualité d'une minime erreur par excès, que l'état d'instabilité d'une eau surappauvrie ("incrustante").

---

(\*) Cf. Annexe IX.



ANNEXE VI

RELATION ENTRE TAC, dpH et  $/\text{CO}_2/$   
SIGNIFICATION du dpH

I. Relation expérimentale (Fig. V)

- Le graphique montre qu'à une même teneur en  $\text{CO}_2$ , par exemple 0,20 mé/1, correspondent des pH très différents (7,11-8,08) selon l'alcalinité de l'eau considérée : si le TAC s'élève, le pH aussi, et le dpH représente l'expression vectorielle de cette variation, comptée depuis une solution étalon d'alcalinité connue prise arbitrairement pour origine (TAC = 3,00).

- En portant sur papier gradué semi-log., pour chacune des eaux étudiées, le point défini par ses deux coordonnées : TAC et dpH, on obtient une droite représentative de la relation expérimentale  $\frac{\text{Log TAC}}{\text{dpH}} = \text{Constante}$ . La pente de cette droite ne dépend évidemment pas de l'origine choisie (TAC = 3 mé) ; mais cette dernière affecte par contre les valeurs (relatives) et le signe du dpH (négatif pour les TAC inférieurs à 3).

2. Signification du dpH

Cette dernière relation, linéaire, autorise donc à considérer le dpH d'un prélèvement comme l'expression en unités pH de son alcalinité (relativement à un étalon), au lieu que son pH chiffre le degré de déséquilibre acido-basique, c'est-à-dire une résultante, un bilan.

En faisant connaître l'importance absolue de la composante basique de cette résultante, le dpH renseigne encore indirectement - compte tenu du pH - sur celle de l'autre composante, acide. Ainsi pH 7,46 traduit un léger excédent d'ions  $\text{OH}^-$  relativement aux ions  $\text{H}^+$ , mais

sans rien indiquer des quantités absolues de bases et d'acides en présence qui ont abouti à ce résultat. Le dpH apportera ce supplément d'information indispensable: Une valeur faible par exemple -67, correspondra à une quantité minime (0,60 pour la référence adoptée) de bases libres ou combinées aux acides faibles, partant à une concentration également réduite (0,09) en acide carbonique libre. Inversement si le dpH c'est-à-dire l'alcalinité étaient trouvés grands (+ 30, avec TAC = 5,80), il leur correspondrait pour le même pH résultant un taux élevé de  $\text{CO}_2$  (0,80). Sur notre graphique, l'axe vertical qui répond à pH : 7,46 indique des valeurs croissantes de  $\text{CO}_2$  à mesure que s'accroît le dpH :  $\log/\text{CO}_2/$  est fonction de dpH.

Cette possibilité, qu'apporte la connaissance du dpH, de dissocier le pH en ses deux composantes nous paraîtrait pouvoir servir l'écologiste. Ne constate-t-on pas en effet que l'on s'est efforcé depuis des décades d'établir une relation entre des êtres vivants et le pH de leur milieu de vie, avec des résultats dans l'ensemble décevants: la plupart des observations ayant montré tantôt une grande indifférence vis-à-vis des variations de ce facteur, et tantôt des effets contradictoires. L'entreprise (même limitée aux seuls pH "naturels") n'aurait-elle pas été entachée à la base d'un vice fondamental expliquant cet échec relatif : l'amalgame sous une même rubrique (le pH) de molécules et ions fort dissemblables quant à leur dynamique tant hydrologique que biologique, faisant abstraction de leurs qualités et quantités respectives et n'en considérant que le bilan acido-basique.

Ainsi, d'un point de vue hydrologique, la balance dans une eau de rivière du  $\text{CO}_2$  libre et des bicarbonates nous paraît, bien plus qu'un dénombrement des ions  $\text{H}^+$  et  $\text{OH}^-$ , une coexistence difficile entre deux principes de comportement physico-chimique très différent : l'un, acidité volatile éminemment diffusible, variable, prompt à réagir

chimiquement autant qu'à se dédire dans ses combinaisons, l'autre, alcalinité saline relativement stable, fixe, foncièrement équilibrante (effet tampon) etc... Connaître ici les deux composantes de la balance nous semble importer plus que le total.

Et de même en biologie : que vaut la comptabilisation conjointe méconnaissant les parties respectives, de molécules de  $\text{CO}_2$  d'une part, remarquablement échangeables à travers les membranes et d'effet physiologique intense connu, et de grosses molécules salines d'autre part, lourdes d'un atome métallique et inaptées à franchir le barrage des membranes, mais possédant à l'inverse des précédentes un rôle "modérateur", fondamental dans l'homéostasie de l'être vivant. Ici encore, la résultante n'instruit qu'à demi.

En bref, si Don Quichotte plus Sancho Pansa font bien un couple, l'information semble de peu de prix surtout lorsque le binôme est trouvé voisin de la neutralité. Mais on la complètera heureusement par un aperçu quantitatif sur la composante pansue et freinatrice, la plus facile à appréhender, dont on pourra ensuite induire aisément par différence avec le tout la complémentaire active, fantasque et difficile à saisir. Telle nous paraît en définitive la raison d'être et la signification première du dpH : il rend possible, dans une eau naturelle grâce au système d'unité employé, la confrontation de l'alcalinité et du pH, il permet ainsi dans l'instant de dissocier ce dernier en ses deux composantes, dont la plus maigre et capricieuse n'est pas la moins active chimiquement ou biologiquement. Pour l'écologiste, le dpH complète et revalorise le pH.

3. Application pratique à la mesure du dpH  
de la relation  $\frac{\log \text{TAC}}{\text{dpH}} = \text{Cte}$

Outre ces perspectives théoriques, la relation linéaire

constatée entre TAC et dpH ouvre encore la porte à une méthode de détermination du dpH, calquée sur celle d'interpolation qui s'est montrée féconde pour la mesure de  $\text{CO}_2$ .

Deux étapes très comparables :

- I) préparation de diverses solutions de TAC connu, par dilution d'une solution-mère concentrée ; l'une d'entre elles sera choisie pour servir de référence (étalon). Un brassage conjoint ensuite en présence d'un air carbonique quelconque, suivi de la mesure des pH et du contrôle acidimétrique des TAC, permet de tracer une fois pour toutes (à température donnée) la droite représentative  $\frac{\log \text{TAC}}{\text{dpH}} = \text{Cte.}$

- II) détermination graphique ultérieure du dpH pour toute eau nouvelle, à partir de son TAC. On fait ainsi, au prix d'une imprécision légèrement accrue, l'économie d'une opération assez longue dans la pratique de la détermination du  $\text{CO}_2$  dissous des eaux.

ANNEXE VII

SUMMARY : ACIDMETRIC AND GRAPHIC METHOD  
FOR THE DETERMINATION OF CO<sub>2</sub>

It has been verified for natural fresh waters :

- 1) that the relation between the log of the concentration of dissolved free CO<sub>2</sub> and the pH is expressed by a straight line ;
- 2) that the straight lines are parallel for water samples of varying origins having different salt concentrations.
- 3) that these straight lines are modified by a change in temperature.

On the basis of these established relations, we have devised for our ecological studies a method for measuring dissolved free CO<sub>2</sub> by means of an apparatus allowing us to bubble CO<sub>2</sub> enriched air in a closed circuit through several water samples. Three successive steps are involved :

- 1) Equilibration of pCO<sub>2</sub> is obtained by passing an initial mixture of air and CO<sub>2</sub> through two samples, one of distilled water, the other of a standard solution of calcium bicarbonate. The operation is repeated with different mixtures air-CO<sub>2</sub>. Each time the concentration in CO<sub>2</sub> is measured (in the distilled water sample, by acidmetric back titration) as well as the pH (in the standard solution, electrometrically). The straight line representing the relation  $\log/\text{CO}_2/ = f(\text{pH})$ , as applicable to the standard solution and to a given temperature (room temperature), can thus be measured.

- 2) The pH of various samples of natural waters is then measured at the same room temperature.
- 3) Finally, the standard solution and the different experimental samples are brought to a different  $\text{CO}_2$  by a further equilibration with some mixture of air and  $\text{CO}_2$ . The differences between the pH of the resulting solutions allow one to establish for each kind of natural water its representative straight line, by reference to the standard straight line. The contents in  $\text{CO}_2$  are then deduced graphically.

We believe this method to be precise, and especially rapid enough, to be very useful in ecological studies where a great many measurements are required.

\*

Méthode acidimétrique et graphique pour la détermination de  $\text{CO}_2$

R E S U M E

- Pour des eaux douces naturelles quelconques, l'expérience vérifie :
  - 1) que la relation entre le log de la concentration en dioxyde de carbone libre dissous et le pH est représentée par une droite.
  - 2) que ces droites sont parallèles dans le cas d'eaux de diverses origines (de différentes salinités).
  - 3) que ces droites représentatives enfin sont modifiées par un changement de température.

- Sur ces données, et en utilisant un appareillage spécial qui permettait de faire barboter en circuit fermé un air enrichi de  $\text{CO}_2$  dans plusieurs échantillons d'eau, nous avons mis au point en vue de notre recherche écologique une méthode de dosage du  $\text{CO}_2$  libre dissous. Nous pouvons distinguer dans cette méthode trois étapes successives :

- 1) Par barbotage d'un premier mélange air- $\text{CO}_2$  dans deux échantillons : l'un d'eau distillée, l'autre d'une solution étalon de bicarbonate de calcium, on équilibre les  $\text{pCO}_2$  respectives. L'opération sera ensuite renouvelée avec un mélange de richesse différente en  $\text{CO}_2$ , et chaque fois sont mesurés la concentration en  $\text{CO}_2$  (dans l'eau distillée, par acidimétrie en retour) et le pH (dans la solution étalon, par électrométrie). On peut ainsi construire la droite représentative  $\log/\text{CO}_2/ = f(\text{pH})$  de la solution étalon, pour la température ambiante.
- 2) On mesure alors le pH des divers prélèvements d'eaux naturelles, portés à cette même température du laboratoire.
- 3) On réalise enfin pour la solution étalon et ces prélèvements une troisième équilibration des  $\text{pCO}_2$ , avec un mélange quelconque d'air carbonique : les décalages de pH constatés permettront d'établir pour chaque eau naturelle sa propre droite représentative à partir de la droite étalon. Les teneurs en  $\text{CO}_2$  se déduiront ensuite graphiquement des pH mesurés dans les prélèvements.

Nous pensons cette méthode suffisamment précise et surtout rapide pour rendre d'utiles services en pratique écologique, où de très nombreuses mesures sont nécessaires.



ANNEXE VIII

RELATION ENTRE LES CONDITIONS METEOROLOGIQUES  
ET LE CO<sub>2</sub> DES EAUX A L'EMERGENCE

I.- L'influence des conditions météorologiques sur la teneur en CO<sub>2</sub> des eaux de sources pourrait s'exercer selon le mécanisme suivant :

- 1) température extérieure et pluviométrie conditionnent la température et l'humidité du sol, ainsi que son lessivage par les eaux d'infiltration.

- 2) tout ceci à son tour influence la biologie du sol, et en particulier l'intensité de la respiration des micro-organismes (bactéries, microfaune et -flore), productrice de CO<sub>2</sub>. Les précipitations peuvent intervenir encore, de deux façons opposées (\*), sur l'accumulation du CO<sub>2</sub> dans le sol : une certaine humidité limite les pertes par diffusion à l'atmosphère, un lessivage excessif tout au contraire dilue le CO<sub>2</sub> produit.

- 3) finalement, pour un sol de structure et de composition minéralogique données, la teneur en CO<sub>2</sub> total ( $\Sigma$  CO<sub>2</sub>) des eaux de drainage et surtout ses variations reflètent à la fois le degré d'activité biologique de ce sol, et la mise en solution plus ou moins complète et concentrée du CO<sub>2</sub> produit, l'un et l'autre sous la dépendance des facteurs météorologiques.

---

(\*) DEMOLON (1960)

II.- Le tableau ci-joint (fig. VI) met en parallèle au long des saisons d'une part trois variables météorologiques significatives du climat, d'autre part une variable hydrochimique représentative de  $\Sigma \text{CO}_2$ .

- a) variables météorologiques : ce sont, pour chaque période mensuelle, la température moyenne (T), le nombre de jours de pluie (P) et la hauteur totale des précipitations (Hm). Les deux sources étudiées provenant de la base du Causse du Larzac, c'est avec les conditions climatiques de leur bassin d'alimentation, c'est-à-dire de la surface du Causse (alt. 800 m) qui domine à l'arrière plan et à un moindre degré du massif de l'Aigoual au Nord, qu'il convenait de confronter leur hydrochimie ; justement deux stations (groupe VI) de l'Office National de Météorologie jouxtent le Larzac, à 50 km au Nord et Nord-Est de ces sources : Millau (alt. : 350 m) et Mont Aigoual (alt. : 1 550 m).

Pour avoir observé tout d'abord que la moyenne des minima thermiques de la première de ces stations répétait à une nuance près celle des maxima de la seconde, nous avons choisi ces derniers chiffres comme devant correspondre sensiblement aux températures moyennes sévisant à l'altitude intermédiaire du Causse.

Pour la pluviométrie, celle du Mont Aigoual (figurée sur le graphique) nous a paru plus représentative pour le Causse que celle de Millau ; les deux reliefs dominant en effet vers le Sud la plaine languedocienne de façon très semblable, exposés aux mêmes flux d'air marin porteurs de pluie, tandis que Millau dans une cuvette, plus à l'intérieur du Massif Central, subit davantage l'influence atlantique. D'autre part, le massif de l'Aigoual par ses versants Sud et Sud-Est contribue à alimenter pour sa part le réseau hydrologique sous-jacent au Causse (fig. 3).

Vu le type de climat : méditerranéen, remarquable par la répartition très inégale des précipitations dans le temps, nous avons cru bon de faire figurer enfin à côté de la hauteur d'eau le nombre de jours de pluie (Mont Aigoual). Cette dernière variable rend compte assez bien en effet de la durée de l'humidification du sol, favorable à l'activité biologique comme à la rétention du  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère hypogée, donc facteur d'enrichissement. Une hauteur d'eau excessive peut signifier au contraire un lessivage intense du sol, donc une dilution appauvrissante des eaux de drainage.

- b) variable hydrochimique : pour un sol donné, donc aussi pour un bassin d'alimentation géographiquement et géologiquement défini, on constate un rapport assez constant entre la part du  $\text{CO}_2$  total combinée aux bases et celle demeurée libre. Dans le cas des sources étudiées provenant toutes deux de terrains karstiques (jurassiques), le  $\text{CO}_2$  des bicarbonates (TAC) représentait à peu près 90 % du total à l'émergence. Nous l'avons donc pris comme témoin des variations de  $\frac{\sum \text{CO}_2}{\text{CO}_2 \text{ libre}}$  et du  $\text{CO}_2$  libre. Il présente le double avantage suivant : d'être moins labile que le  $\text{CO}_2$  libre donc moins fauteur d'erreur, d'être près de dix fois plus abondant que ce gaz donc de manifester avec une amplitude multipliée une modulation qui, trop minime, aurait risqué de passer inaperçue, compte tenu de l'imprécision technologique.

Pour la Buèges, on a figuré sur le graphique les valeurs plafond du TAC du cours supérieur ; valeurs légèrement plus élevées que celles observées à la source même, du fait de l'appoint de petites sources riveraines de même origine mais un peu plus riches en calcaire. Ces chiffres témoignent donc pour l'ensemble de la zone sourcière de la Buèges, de novembre 60 à juillet 62.

Quant au Verdus, il est représenté par une de ses sources latérales du cours inférieur : la Fontaine Rigal (à Saint-Guilhem-le-Désert), pour laquelle nous possédions un nombre suffisant d'analyses durant la période novembre 62 à janvier 64.

III.- Résultats : le graphique met bien en évidence plusieurs corrélations : (\*)

- 1) action du lessivage automnal et du froid hivernal : une BAISSSE de  $\text{CO}_2$  coïncide avec le grand clocher pluviométrique suivi du creux thermique qui flanquent le solstice d'hiver ; sommeil biologique du sol. Une action propre du lessivage, indépendante de celle du froid, semble se manifester sur la courbe de  $\text{CO}_2$  au printemps 61 et à l'automne 63.

- 2) action inverse du réchauffement printanier et de l'humidité : HAUSSE de  $\text{CO}_2$ . Le rapprochement des trois solstices d'été montre le rôle de l'humidité : en 63, cette époque très chaude et pluvieuse s'accompagne d'une hausse spectaculaire du TAC (0,20) ; en 61, nettement moins chaude mais encore pluvieuse, elle est marquée par une hausse moindre (0,10) ; en 62, température intermédiaire mais sécheresse, et la hausse n'est que de (0,05). Conclusion : l'humidité est nécessaire.

Comparer encore les deux printemps 61 et 63 de pluviosité similaire : le second nettement plus chaud est aussi plus enrichissant en  $\text{CO}_2$  ; de même, pluviosité identique des fins d'été 61 et 63, mais la première plus chaude est moins appauvrissante en  $\text{CO}_2$ .

---

(\*) cf. SCHOELLER (1959), p. 77

- 3) action de la sécheresse estivale : elle se manifeste régulièrement par un CREUX de  $/CO_2/$  (61-63), lequel serait probablement moins en rapport avec la rareté actuelle des précipitations (ce qui n'est pas le cas en 63), qu'avec un épuisement saisonnier de l'humidité profonde du sol, néfaste pour la biologie. La baisse de niveau constatée pour les nappes et réseaux hydrologiques hypogées traduit cet épuisement, conséquence normale d'une évaporation maximum en été (courbe thermique), non compensée par un approvisionnement qui va s'amenuisant depuis l'automne précédent (courbe des précipitations). Il semble bien effectivement que la reprise de  $/CO_2/$ , par exemple à l'automne 63, ne s'amorce pas après une simple humidification superficielle (nombreux jours de pluie en août et septembre mais faibles précipitations), seulement par une véritable reconstitution des réserves d'eau en profondeur (moins de jours de pluie en octobre mais trois fois plus de précipitations, avec un sol non encore refroidi).

Ainsi l'aridité profonde creuse un fossé entre les deux clochers estivaux d'activité biologique du sol et de haute concentration en  $CO_2$  des sources : celui proprement estival de juillet et celui, en début de novembre, de "l'été de la Saint Martin" - comme l'on dit dans les campagnes languedociennes - 60-62-63).

IV.- Conclusions. En définitive, la relation pressentie entre le climat du bassin d'alimentation et la teneur en  $CO_2$  des sources à leur émergence est vérifiée par l'analyse. On observe, calqué sur celui de la biologie du sol, un rythme à quatre temps dans la variation de  $/CO_2/$  schématisée sur notre graphique. On vérifie aussi la loi très générale du minimum : la température en hiver et les réserves d'humidité du sol en été constituent bien, au moins dans nos régions, les "goulots d'étranglement" de la production de  $CO_2$ .

Mais l'importance quantitative de la variation constatée apparaît très minime : l'écart annuel entre les chiffres extrêmes du TAC est de l'ordre de 10 % de la teneur, et ces changements s'étalent sur plusieurs mois. Tenant compte du fait (démontré dans la troisième partie de cette thèse) que l'élément physiologiquement et biologiquement actif sur les Planaires est la fraction libre de  $\Sigma \text{CO}_2$ , et que celle-ci est sujette dans une eau courante à des variations dans l'espace et dans le temps infiniment plus considérables, il ne semble pas que l'on puisse attribuer aux variations de  $\text{CO}_2$  à l'émergence un effet écologique direct majeur sur les Planaires. Un effet indirect par contre n'est pas exclu : un accroissement au printemps de  $\text{CO}_2$  dans les sources et les multiples suintements du lit des cours d'eau a valeur de Signe, il traduit un ensemble de conditions favorables à une plus grande mise en solution des minéraux du sol, à une plus grande richesse en fer par exemple et autres oligo éléments dissous. Par ce mécanisme les variations saisonnières de climat dans les bassins d'alimentation des sources peuvent sans doute influencer la micro-flore, et peut-être par le biais de cette nourriture consommée la biologie des Planaires?(3-4-2 et 3).

ANNEXE IX

L'EQUILIBRE  $\text{CO}_2 - \text{CO}_3 \text{ Ca}$   
(in FRANQUIN et MARECAUX, 1938, a et b)

Ces auteurs dans leur diagramme ci-joint (fig. VII) départagent autrement que nous une solution carbonique bicarbonatée : considérant la labilité potentielle du sel monoacide, ils assimilent graphiquement ce dernier à la juxtaposition, équimoléculaire, du  $\text{CO}_3\text{H}_2$  et du  $\text{CO}_3\text{Ca}$  que libérerait sa scission.

Dans cette perspective, ils définissent parfaitement un quelconque système carbonique en solution par les teneurs respectives, exprimées dans les mêmes unités (mgr de  $\text{CO}_2$  par litre - 1 mé = 22 mgr), des deux catégories suivantes :

- 1) d'une part (en abscisse), l'acidité libre, réelle et éventuelle  $X = \text{CO}_2 \text{ libre} + \text{CO}_2 \text{ "semi-combiné"}$  c'est-à-dire la moitié de  $[\text{HCO}_3^-]$  susceptible d'une métamorphose en  $\text{CO}_2$ .
- 2) d'autre part (en ordonnée), l'acidité (totalement) combinée, là encore en réalité et en potentiel,  $Y = \text{CO}_2 \text{ des carbonates} + \text{la moitié restante de } [\text{HCO}_3^-]$ .

Ces auteurs démontrent ensuite que toutes les solutions de mêmes proportions relatives ( $\frac{Y}{X} = a$ ) de ces deux catégories possèdent un même pH (indépendant par conséquent des concentrations absolues) ; leur présentation graphique, ou plus précisément le lieu géométrique de ces solutions, évidemment linéaire, passe par l'origine des axes. Par exemple les solutions pures de bicarbonates, qui contiennent par constitution même x et y à part égale, seront en conséquence représentées par la bissectrice de l'angle droit  $yOx$ , avec un pH de 8,30 (à 25°).

Cette catégorisation sans aucun doute est plus satisfaisante d'un point de vue théorique ; la nôtre au contraire, plus classique et empirique, ne se justifie que par les techniques de dosage utilisées qui mesurent le  $\text{CO}_2$  libre et le TAC ; ce dernier assimilable à  $[\text{HCO}_3^-]$  pour des valeurs du pH inférieures à 8,00 et en l'absence d'autres sels d'acides faibles tels que silicates, humates, etc...

\*

On pourra retrouver aisément sur le diagramme de FRANQUIN et MARECAUX toutes les notions que nous avons déjà exposées dans nos propres catégories, non sans l'avoir toutefois dûment complété par trois courbes caractéristiques :

- 1) la courbe des solutions pures de carbonate (A) ne s'identifie pas contrairement à la logique à l'axe des Y, car ce sel mis en solution s'ionise, et l'hydrolyse fait apparaître des ions  $\text{HCO}_3^-$  dont la moitié soustraite en ordonnée devra figurer en abscisse.



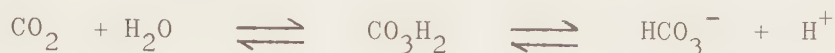
La solution (B) par exemple, saturée en  $\text{CO}_3\text{Ca}$  (environ 13 mgr ou 0,26 mé de  $\text{CO}_3^{=}/\text{l}^{(*)}$ ) contient après hydrolyse les 2/3 de son  $\text{CO}_2$  total sous forme de  $\text{HCO}_3^-$  et 1/3 seulement sous la forme  $\text{CO}_3^{=}$  (pH, voisin de 10).

Avec le calcaire peu soluble, la courbe s'interrompt précisément au point (B), pour cause de saturation ; un carbonate soluble par contre tel que  $\text{CO}_3\text{Na}_2$  permettrait de la prolonger bien au-delà (en pointillé sur le graphique).

---

\* Schloesing (1872) ; Askew (1923) indique 20 mgr ou 0,4 mé/l.

- 2) la courbe des solutions pures d'anhydride carbonique (C) ne s'identifie pas davantage, quoique bien plus voisine, avec l'axe des X : une partie du  $\text{CO}_2$ , infime, s'hydrate en effet et s'ionise avec apparition d' $\text{HCO}_3^-$  qui rend Y différent de zéro



- 3) la courbe de saturation ou d'équilibre  $[\text{CO}_3^{=}] / [\text{Ca}^{++}] = \text{Ks}$

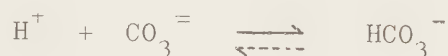
Pour toutes les solutions possibles, il existe un point pour lequel le produit ionique des teneurs en  $\text{CO}_3^{=}$  et  $\text{Ca}^{++}$  est égal à la constante de solubilité du carbonate. A l'ensemble de ces points correspond la courbe  $[\text{CO}_3^{=}] / [\text{Ca}^{++}] = \text{Ks}$  qui figure et régit l'équilibre d'un système carbonique ; elle subdivise l'espace en deux champs : de précipitation des carbonates (solutions "incrustantes"), et d'agressivité au marbre (solutions "agressives"). Légèrement incurvée vers les pH acides, cette courbe croise très obliquement au point (D) celle représentative des solutions pures de bicarbonate, la partageant en deux segments de caractéristiques contraires.

La solution pure de bicarbonates (D) se trouve par conséquent parfaitement équilibrée et stable, avec une teneur (à 25°) de  $5,67 \times 10^{-4}$  molécules ou 1,13 mé d' $\text{HCO}_3^-$  correspondant à 49,8 mgr de  $\Sigma \text{CO}_2$ . Mais pour une teneur inférieure (E), une même solution pure de bicarbonate est agressive pour le marbre ; la variation (EE') verticale (à acidité constante) traduit la mise en solution (physique) de  $\text{CO}_3\text{Ca}$ , avec un pH final supérieur à 8,30.

Pour des teneurs supérieures (F) au contraire, l'hydrolyse fait apparaître des quantités de  $\text{CO}_3^{=}$  et de  $\text{Ca}^{++}$  dont le produit ionique est supérieur à la constante de solubilité Ks, d'où une évolution spontanée (FF'), verticale (c'est-à-dire à acidité libre constante), par

précipitation du  $\text{CO}_3\text{Ca}$  en sursaturation qui libère une quantité équivalente ( $F_1 F_1$ ) de  $\text{CO}_2$  libre, et réduit en ( $F_1$ ) la teneur d' $\text{HCO}_3^-$ .

La solution (F) de bicarbonates pourrait encore être stabilisée et cette "incrustation" prévenue par l'appoint d'une petite quantité EQ de  $\text{CO}_2$  dit "équilibrant" (évolution en  $F''$  de la solution, horizontale car à  $\text{CO}_2$  combiné constant), quantité suffisante pour faire rétrograder la production d'ions carbonates :



\*

#### L'évolution après l'exsurgence ...

d'une eau de source G (de teneur  $G'$  en  $\text{HCO}_3^-$ ) peut également être suivie sur le diagramme.

- 1) maintenue à l'abri de l'air (acidité libre constante) et mise en contact de calcaire, elle solubilisera celui-ci (évolution verticale en  $G_1$  - nouveau taux en  $G'_1$  d' $\text{HCO}_3^-$ ).
- 2) plus probablement dans la nature, elle se trouvera mise en contact avec l'air : le barbotage lui fait perdre d'abord son " $\text{CO}_2$  en excès" EX ( $GG_2$ ) avec forte variation du pH, puis son " $\text{CO}_2$  équilibrant" ( $G_2 G'_2$ ), voire s'il est particulièrement intense son " $\text{CO}_2$  lié" ( $G'_2 G''$ ) ; dans ce dernier cas, les bicarbonates sont directement décomposés (pH supérieur à 8,30).

Le principe de LE CHATELIER suffit à expliquer la précipitation calcaire de réajustement, pour retour à l'équilibre ( $G_3$ ) (avec  $G'_3$  d' $\text{HCO}_3^-$ ) ; variation calquée sur l'évolution spontanée ( $FF'$ ) déjà décrite d'une solution pure de bicarbonate.

- 3) la continuation ininterrompue du barbotage fait glisser le point représentatif de l'eau épigée vers des teneurs toujours inférieures (Gn), au long de la courbe "d'équilibre"  $/\text{CO}_3^{=}/\text{Ca}^{++}/ = \text{Ks}$  ou dans son voisinage immédiat ; faible variation du pH, sauf clochers passagers de sursaturation consécutifs à une ventilation considérable.

\*

Etabli pour une solution pure de  $\text{CO}_2\text{-CO}_3\text{Ca}$ , ce diagramme reste pleinement valable dans son principe, à la valeur des constantes près, pour une eau naturelle quelconque contenant en solution de multiples ions ; ceux-ci par leurs concentrations et leurs valences respectives influencent la force ionique  $\mu$  de la solution, et à travers elle, la solubilité du calcaire. La courbe  $/\text{CO}_3^{=}/\text{Ca}^{++}/ = \text{Ks}$  sera alors plus ou moins infléchie vers les pH acides, selon la valeur de cette force ionique  $\mu$ .

\*



ANNEXE X

SOLUBILITE DU FER DANS LES EAUX NATURELLES  
(d'après SCHOELLER, 1955)

Deux diagrammes ci-joints de cet auteur (fig. VIII) confrontent aux teneurs en fer dissous ( $\text{Fe}^{++}$ ) dans les eaux naturelles les différents facteurs chimiques susceptibles de les influencer.

- A) Mise en solution du fer dans le sol et teneurs à l'émergence (F. VIII-a).

Etabli pour une valeur supposée invariable et choisie relativement basse ( $E_h = 0$ ) du potentiel d'oxydo-réduction (l'atmosphère des sols est toujours relativement appauvrie en  $\text{O}_2$ ), le graphique (a) nous montre que les teneurs possibles en activités de fer ferreux  $\langle \text{Fe}^{++} \rangle$  (\*) seront d'autant plus faibles et selon une dégradation très rapide : puissances négatives de 10, que les teneurs en activités de bicarbonates alcalino-terreux ou que le pH seront plus élevés.

Pratiquement dans un sol (axe AB), richesse en calcaire (surtout "actif") et pH élevé donneront des eaux de drainage pauvres en Fer (A), tandis que l'inverse se produira avec un sol acide (B) de pH moindre et dénué de bases. Cas intermédiaires : un limon calcaire accumulant le  $\text{CO}_2$ , un sable acide mais trop perméable à ce gaz ... etc...

---

(\*) Dans une solution polyhaline la teneur en "activités" ( $\langle \dots \rangle$ ) d'un ion donné se déduit assez simplement de sa concentration, en la multipliant par un facteur dépendant entre autre de la température, de la valence de l'ion considéré et de la "force ionique"  $\mu$  de la solution (calculée elle-même à partir des concentrations et valences des autres ions dissous). Dans la plupart des eaux douces naturelles de résistivité élevé, ce dernier facteur est peu différent de 1 ; par quoi nous sommes autorisé à identifier, en première approximation : "activités" et "concentration".

Quant aux eaux de source (toujours pour un même potentiel redox), la plus dure sera la plus pauvre en fer à pH égal (axe vertical CD) ; et à même alcalinité (axe horizontal EF), la plus riche en  $\text{CO}_2$  sera aussi la plus riche en Fer : antagonisme  $\text{H}^+(\text{CO}_2)-\text{Ca}^{++}(\text{CO}_3)$ .

Les chiffres indiqués correspondent évidemment aux concentrations maxima possibles, indépendamment d'une éventuelle dilution météorique ou d'un séjour hypogée de l'eau insuffisamment prolongé.

La variation de l'une de ces deux coordonnées, pH ou  $\text{HCO}_3^-$ , dans une quelconque eau souterraine (X) pourra se traduire selon le cas par une augmentation du fer dissous (ex : évolution XE d'une eau karstique qui pénètre dans une lentille argileuse plus riche en  $\text{CO}_2$ ), ou par une précipitation (ex : eau d'infiltration d'un sol lessivé atteignant l'horizon illuvial B où le TAC et le pH s'élèvent<sup>(\*)</sup> : évolution XA).

Dans ce dernier cas d'une précipitation, deux obliques (en pointillé) du diagramme délimitent trois champs où le fer en sursaturation se déposera selon les coordonnées "acido-basiques" de l'eau, respectivement à l'état de sulfure, de carbonate ferreux ou d'hydroxyde ferrique.

- B) Précipitation du fer après l'exsurgence (F. VIII-a).

A ne considérer dans cette conjoncture que le seul gradient carbonique, nous nous trouvons dans le cas d'une simple progression du pH par fuite du  $\text{CO}_2$ , à TAC constant (tout au moins jusqu'au stade d'incrustation calcaire que nous savons postérieur au dépôt du fer).

---

(\*) Demolon : p. 55 et 86 bis.

L'évolution horizontale XF, sur le même diagramme (a) à Eh = Cte, montre deux phases successives :

- 1) dans le champ de précipitation de  $\text{Fe CO}_3$ , baisse relativement la plus lente des teneurs en fer ;

- 2) au-delà d'une certaine valeur du pH en rapport avec le taux d'alcalinité, le fer se suroxyde et précipite massivement : champ de précipitation de  $\text{Fe (OH)}^3$ . Cent fois plus que précédemment pour une même élévation du pH ; effet protecteur par conséquent d'un pH acide contre l'oxydation du fer.

Cette même évolution XF peut encore être explicitée d'autre façon :

- 1) aussi longtemps que les proportions du  $\text{CO}_2$  libre et du  $\text{CO}_3\text{Ca}$  (au sens de l'annexe IX, c'est-à-dire effectives et potentielles) permettent au fer d'exister sous la forme d'un sel de l'acide carbonique, il est relativement protégé de l'oxydation insolubilisante, et sa teneur dépend simultanément de ces deux catégories figurées par le pH et  $/\text{HCO}_3^-/$  ; sa précipitation à l'état de carbonate peut se comparer à celle du calcaire.

- 2) mais pour une trop faible tension du  $\text{CO}_2$  libre relativement à  $/\text{HCO}_3^-/$ , le sel ferreux labile se décompose en totalité, libérant  $\text{CO}_2^{(*)}$  et livrant le fer à la suroxydation ; la précipitation intense relève maintenant d'un mécanisme différent : indépendante de  $/\text{HCO}_3^-/$ , elle se subordonne au seul pH. Nous étions par conséquent fondés, au début de ce paragraphe, en nous situant à  $/\text{HCO}_3^-/$  constante puisque, avant même que cette valeur ne fléchisse, elle est devenue inopérante sur les teneurs en fer par ses variations.

---

(\*) Pour cette raison, lors du dosage acidimétrique en retour du  $\text{CO}_2$  libre, on dose comme libre une acidité qui se trouvait en réalité combinée au fer et autres hydroxydes métalliques.

- C) Précipitation du fer après l'exsurgence (suite)  
(F. VIII-b).

Les changements de  $/\text{HCO}_3^-/$  par précipitation calcaire pouvant être négligés, il sera dès lors plus conforme à la réalité des faits de suivre la variation de l'eau après l'exsurgence sur le diagramme (b) établi pour une valeur donnée de  $/\text{HCO}_3^-/$ , Eh étant variable. Le brassage avec l'air (oxygenation et réchauffement en été) provoque en effet l'élévation du potentiel redox en même temps que celle du pH.

Nous y retrouvons, sur la droite XF, les deux étapes successives déjà décrites de la précipitation ; mais la seconde d'entre-elles s'avère encore plus désastreuse pour les teneurs en fer : par exemple, un accroissement du pH de seulement 0,2 joint à la progression du Eh n'est-il pas susceptible d'y réduire dix fois la teneur en fer ? Et une même variation du pH qui lors de la première étape l'aurait fait choir au 1/10 de sa valeur initiale pourra pendant la seconde - à la limite - la réduire au un millionième.

\*

Pour conclure, ces diagrammes schématisent mathématiquement deux ordres de faits utiles à notre problème :

- 1) les teneurs en fer initiales des sources dépendent moins de la richesse absolue en ce métal des terrains qui leur donnent naissance, que des possibilités de mobilisation influencées fondamentalement par les proportions  $\text{CO}_2$  (biologique)  $/\text{CO}_3\text{Ca}$  (géologique) dans ces mêmes terrains.

- 2) l'amointrissement de ces teneurs à partir de l'exsurgence revêt une brutalité extrême sous l'effet conjugué des hausses de pH et de Eh : on les exprime en effet par rapport au taux initial en puissances négatives de 10. Une chute aussi rapide de la concentration,

bien faite pour influencer la biologie, ne saurait surprendre, étant la traduction hydrochimique du dépôt prématuré du fer observé avant tout autre dans la stratification pédologique, et retrouvé dans notre expérimentation.

\*



ANNEXE XI

NOMENCLATURE ET IDENTIFICATION DES STATIONS-TEMOINS

dans les quatre cours d'eau : Buèges, Hérault, Lez, Verdus

La localisation est précisée par trois chiffres, dans l'ordre : l'éloignement de la source, en mètres (avec indication de la rive droite ou gauche) et les coordonnées UTM de la carte I.G.N., x et y.

- A) Stations-témoins de la Buèges

(feuilles IGN 1/50 000 : "Le Caylar" et "St Martin-de-Londres".

- I : 0 m - RG - 477, 515  
eau jaillissante devant la station de pompage.
- II : 175 m - RG - 479, 515  
quelques mètres en amont d'un moulin ruiné de rive droite.
- II bis : 425 m - RD - 481, 515  
à 30 m de la route, un gué pour chars avec une passerelle rustique en bois.
- III<sup>(\*)</sup> : 825 m - RD - 484, 516  
double poteau électrique en forme de lambda au bord de la route ; confluent de la rivière avec un fossé perpendiculaire toujours à sec et envahi de saules nains.
- IV<sup>(\*\*)</sup> : 1 300 m - RD - 488, 517  
tournant de la route en aval d'une mesure, au débouché d'un petit thalweg ; rivière en contre-bas.

---

(\*) fig. 21.

(\*\*) fig. 18.

- V : 1925 m - RD - 492, 521  
gué pour chars, au bord de la route.
- VI : 2625 m - RD - 497, 525  
panneau indicateur Z au bord de la route ; à 30 m en aval  
d'un barrage, rivière barrée par un alignement de pierres au  
pied d'un chêne.
- VII : 3250 m - RG - 498, 529  
aval immédiat du Pont de St-Jean de Buèges.
- VIII : 3475 m - RG - 499, 531  
gué à la sortie de St-Jean, en contre-bas d'un chemin de char  
longeant la rivière (calvaire), que l'on suivra jusqu'en XI.
- IX : 3925 m - RG - 502, 531  
100 m en aval d'une mesure isolée, avec citerne, au bord du  
chemin.
- X : 4725 m - RG - 507, 533  
roseaux sur la rive G. ; en face, la falaise formant promon-  
toire s'avance vers la rivière.
- X bis : 5000 m - RG -  
premier seuil de travertin traversé par le chemin et la ri-  
vière : boqueteau d'arbustes.
- XI : 5300 m - RG - 512, 535  
corne aval de la dernière vigne sur RG ; avant les chutes et  
le chaos de travertin.

- B) Stations-témoins du Verdus

(feuille IGN 1/50 000 : "Lodève")

- I : Source au-dessus du barrage, à l'extrême fond de la combe de  
Gellone - actuellement cloturée (captage).

- II : 80 m - RD - Quercus ilex isolé sur rive gauche.
- III : 150 m - barrage de dérivation vers un canal d'irrigation de rive gauche ; station au début de ce canal.

Dans le ruisseau :

- III bis : 145 m - bassin au pied du barrage.
- IV : 250 m - confluence avec le Verdus d'un trop plein du canal, issu de VIII.
- V : 360 m - gué sous un bouquet de pins Laricios salzmannii sur rive droite.
- VI : 460 m - arbre mort couché en travers du lit, en aval des vasques de tuf.
- VII : 560 m - affleurement des strates bajociens dans le lit, peu avant la perte ; masses de tuf en surplomb.

Dans le canal (suite à III)

- VIII : 222 m - écluse (de trop plein) sur le canal.
- IX : 317 m - dernier peuplier du canal : en parallèle avec V.
- X : 430 m - coudure brusque du canal, à la hauteur d'une masse de tuf ; en parallèle avec VI.
- XI : 522 m - dernier bouquet de pins Laricios ; en parallèle avec VII.
- XII : 632 m - le canal oblique à angle droit vers le lit du Verdus.

Nota : d'importants travaux de captage à la source et d'adduction d'eau, réalisés en 1963, ont passablement modifié le débit, et même en certains endroits la topographie indiquée ici.

- C) Station-témoins du Lez

(feuille IGN, 1/50 000 : "Montpellier").

- I : 0 m - RG - 681, 411  
gouffre, à l'extrémité de la passerelle métallique.
- I bis : 25 m -  
au pied même du barrage, rive adossée à une batisse ; figuier.
- II : 350 m - RD - 685, 409  
au pied de la route, à 60 m en amont d'un pont-canal.
- III : 700 m - RD - 688, 407  
à 200 m de la route, boqueteau de Platanes, au débouché d'un  
fossé habituellement asséché ; coudure du Lez et court rapide.
- IV : 2 200 m - RD - 692, 396  
écluse du barrage de la Grange des Pins.
- V : 2 600 m - RG - 691, 392  
amont immédiat du barrage de Moulin Neuf ; celui-ci en aval  
du pont de Prades et du confluent du Lirou.
- VI : 3 200 m - RD - 689, 387  
rivière sous un coude de la route (côte 61).
- VIII : 5 500 m - RG - 697, 368  
amont du barrage.
- IX : 6 200 m - RD - 699, 362  
rive adossée au pont de la D. 17, juste en amont de celui-ci.

- D) Stations-témoins de l'Hérault

(fig. IX : carte chevauchant 3 feuilles IGN)

toutes les stations se trouvent sur rive droite.

- I : 0 m.  
origine conventionnelle choisie à la fin d'un long rapide,  
500 m environ en amont de Cent Fons.
- (A) : 500 m - résurgence de Cent Fons  
jaillissement sis à 10-25 m en aval du confluent de la rivière  
fossile.
- II : 2 000 m.  
à 100 m en aval du 3ème barrage depuis St Guilhem-le-Désert.
- III : 4 000 m.  
Crête du 2ème barrage depuis St Guilhem, au tournant de la  
route GC 4 lorsqu'elle quitte les gorges de l'Hérault.
- (B) : 4 750 m - Source de la Combe du Buis.  
à 100 m en amont du débouché d'une rivière fossile : plusieurs  
exurgences situées à quelques mètres du fleuve, au sein d'un  
taillis de Saules nains.
- IV<sup>(\*)</sup> : 5 900 m.  
petite plage succédant à un défilé du fleuve entre deux fa-  
laises ; sur la route, borne kilométrique "Ganges à 29 km".
- (C) : 6 900 m - Source de la Combe Bugadière  
difficile à trouver (cf. 2ème partie, chapitre 4) dans une  
fissure de la falaise au niveau du fleuve ; borne kilométri-  
que sur la route : "Ganges à 30 km".
- V : 7 500 m.  
amont du 1er barrage depuis St Guilhem, borne kilométrique  
G.31.
- 

(\*) Fig. 23.

- (D) : 7 900 m - Source du Cabrier  
au bord de la route.
- VI : 8 500 m.  
vieux peuplier solitaire et brisé à mi-hauteur en amont de  
St Guilhem ; borne kilométrique : G.32.
- (V) : 9 000 m - Verdus inférieur  
dans le village même, à 100 m environ en amont de la route  
GC.4.
- VII : 9 900 m.  
un peu en amont du second des moulins en ruine après St Guilhem-le-Désert, au débouché de la Combe de Brunan.
- (E) : 11 750 m - résurgence de Clamouse  
au bord de la route, maison isolée et grotte exploitée (l'eau provient d'une perte du Drac, et du Causse du Larzac).
- VIII : 12 100 m.  
en aval du Pont du Diable, sur rive gauche.

ANNEXE XII

LE MICRO G.C. DE LA STATION VI DE LA BUEGES

Cette station nous paraît intéressante à plus d'un titre. D'abord comme "terme de passage" : entre des sources riveraines bien individualisées comme celles de l'Hérault, et les micro G.C. du type "Buèges III", asymptomatiques au niveau de l'eau épigée. Intérêt "historique" ensuite : objet de notre première "enquête" écologique, ce micro-biotope devait nous conduire à la conception même des micro G.C., et l'histoire de sa révélation illustre parfaitement par ailleurs un type de démarche directement inspiré semble-t-il par la littérature policière.

C'est en juin 1960 que pour la première fois nous prospectons la Buèges de "pied en cap", dans l'intention d'en dégager la physionomie de son peuplement en Planaires. L'opération se résume pour nous à interroger minutieusement, sur une dizaine de kilomètres et à raison de 5 à 10 sondages par kilomètre, le fond de cette petite rivière. La future station VI est ainsi reconnue habitée par les deux espèces P.felina et D. gonocephala.

- Après plusieurs sorties, nous ne retenons qu'un certain nombre des multiples gîtes recensés ; choisis d'espacement à peu près régulier, d'accès facile, et sensiblement équivalents (pour les Planaires qui y vivent) quant à l'ensoleillement, la profondeur, et surtout le courant et la structure générale du fond, etc... Pour ces diverses raisons, ce choix implique justement la station VI, qui présente en outre la particularité de figurer le dernier avant-poste vers l'aval de

l'espèce P. felina ; le précédent gîte où on la trouve de façon non exceptionnelle étant situé quelques 1 300 m plus en amont, à la station IV.

Au niveau de la station, un alignement de grosses pierres formant barrage coupe la rivière, assurance pour un minimum de courant par les plus grandes sécheresses ; un vrai barrage haut de 2 m et situé à 30 m en amont garantit enfin par sa chute la bonne oxygénation permanente de l'eau.

- Premières analyses en novembre 60 : les courbes très régulièrement dégressives du G.C. de la rivière ne montrent rien de particulier pour la station ; débit alors relativement élevé après un clocher pluviométrique en octobre (fig. VI).

- Un léger ressaut sur la courbe  $/CO_2/$  est noté pour la première fois en janvier 61 après les faibles précipitations de décembre ; notre premier mouvement consiste à mettre ce ressaut sur le compte d'une erreur de mesure, attitude d'autant plus fondée que nous déterminons alors  $/CO_2/$  par la méthode de HIRTZ et PIOGET d'acidimétrie en retour, peu fidèle pour de faibles concentrations (Annexe II).

- Simple rupture de pente sur la courbe de février, le ressaut s'accroît bien davantage en mars avec la longue sécheresse (fig. VI). Nous commençons à soupçonner l'existence d'une source affluente. Exploration minutieuse, et négative, des deux rives, mètre après mètre sur un demi-kilomètre. Une série de prélèvements étagés fait la preuve de l'étroite localisation du facteur "X" acidifiant : aucune manifestation à 20 m en amont, non plus qu'en aval de la station.

- Nouvelle série de prélèvements centrée sur la station VI : contre la rive opposée, en plein courant, 5 m en amont et en aval, sur

la rive droite même dans 5 cm d'eau immobile, etc... ; ce dernier prélèvement et un autre à 1 m en aval expriment seuls, et fortement, un regain de l'acidité. Coïncidence : ces deux points sont aussi les seuls à héberger P. felina, tandis que D. gonocephala s'écarte davantage de la rive.

- Pluies en avril-mai 61 : le ressaut disparaît, puis s'affirme à nouveau. Un thermomètre immergé en VI contre la rive, puis à 2 m d'elle, tient le même langage. Mais le fond juxtapose des aspects contradictoires : légères traces de tuf sur les pierres sises en plein courant, et petits dépôts ferrugineux contre la rive où l'on reconnaît encore une flore particulière aux sources (dont celle de la Buèges éloignée pourtant de 2 600 m) ; cette microflore ne s'écarte pas du bord de plus d'un mètre : Batrachospermum, quelques touffes immergées d'une Jungermanniale, et surtout quatre mèches vert-foncé d'un Phormidium égarées sur trois pierres riveraines que caresse le courant ; tout autres sont les Algues un mètre plus loin.

- Pour ce qui est d'une "source", la rive droite se montre cependant désespérément muette. Talus haut de 1 mètre du radier de la route, elle ne révèle pas la moindre trace d'humidité, sauf peut-être à son pied émergé que tapisse densément l'Hépatique Marchantia sp. Sur son bord opposé cette même route longe une sorte de falaise calcaire lisse, sans marque aucune laissée par quelque barre à mines (Sinémurien, "déplacé" ici à côté du Bajocien voisin ?) ; un court fossé l'en sépare, approfondi à mi-longueur par un bassin envahi de végétation et destiné à rassembler les eaux, qui par une canalisation sous-jacente à la route viendront se jeter dans la Buèges quelques mètres en amont de VI. A vrai dire, fossé et canalisation ont quelque chose d'insolite : pas un versant pour converger vers le fossé, et dans la canalisation cimentée jamais le moindre ruissellement en trois ans d'observation,

même sous les plus violents orages ; une humidité cependant, étrange sur ce rocher compact, ne fait pas de doute à en croire le foisonnement végétal.

- La carte géologique au 1/80 000 nous révèle alors l'existence d'une faille, rattachée au même système de fractures qui a donné naissance à la Buèges, et dont la falaise lisse figure le miroir ; parallèle à la rivière au niveau de la station VI, cette faille l'a croisée à 30 m en amont, plus haute de deux mètres avant la chute du barrage. Ainsi trouvons-nous rassemblées les conditions d'une exsurgence dont l'origine peut aussi bien être lointaine (la même que pour la Buèges) que proche (sous-écoulement de la rivière, capté par la faille et mis en charge par le dénivelé du barrage).

- Juin 61 : eau à 18° - D. gonocephala s'est multipliée et semble préférer le courant central, au contraire des P. felina, maintenant nombreuses et de grande taille, toujours étroitement cantonnées contre la rive sur un espace d'un demi-mètre carré, en eau très lente qu'envahit la flore fonticole.

- Juillet 61 , un nouveau paradoxe dans la biocoenose : D. tigrina est découverte à moins de 100 m en aval, sur une plage d'eau stagnante. Elle n'a point coutume pourtant de jouxter les précédentes espèces.

- 5 septembre 61 : chaleur et surtout sécheresse considérable (Fig. VI), avec le débit le plus bas que nous ayons enregistré en trois ans. L'eau, à 19° dans le courant, a mis à découvert 50 cm de rive. Nous ne retrouvons d'abord aucunes P. felina, puis soudain une dizaine d'entre elles rassemblées dans un filet d'eau : à peine individualisé et courant entre deux pierres contre cette rive, il se perd

dans la masse de la rivière 20 cm plus loin, prolongé par une sorte de glaire ferrugineuse néoformée abondante, de la surface d'une assiette. Ce filet d'eau prélevé contient, avec un pH de 7,68 environ, 0,4 mé de  $\text{CO}_2$  contre 0,15 dans le courant (pH : 8,05) : son mélange avec une eau hypogée semble évident.

- Un an plus tard, le 12 juillet 62, aspect de la station comparable à ce qui précède, en un peu moins asséché. Gîte à P. felina à 19°,5 avec 0,75 mé de  $\text{CO}_2$  (pH 7,33) dans une eau prélevée avec mille précautions au niveau d'un griffon dérisoire mis à nu sur la rive par le retrait de la rivière. Dans le courant : 0,18 mé de  $\text{CO}_2$  (pH 7,97) avec une température de 21°.

- Quelques jours après, température record de 20°,5 dans le gîte, un degré de plus dans le courant. Mais avec deux degrés de moins, et surtout sans doute faute d'eau naissante, la précédente station en amont (V) de la Buèges est toujours aussi délaissée par P. felina (moins de 10 exemplaires récoltés en trois ans).

- Au total, bien maigre bilan après 25 mois d'observations et d'analyses : ce griffon obscur que suffirait à masquer une pièce de un franc. C'est pourtant à cette microrésurgence que nous devons manifestement rattacher la survivance de P. felina aussi loin de ses bases de départ, ainsi que son aspect florissant malgré une chaleur excessive.

Relativement eurytherme<sup>(\*)</sup>, cette eau naissante garantit en été à notre Planaire une température inférieure tout au plus de 2 degrés à celle de la rivière ; mais la station V, quasi inhabitée, démontre que ces deux degrés ne sont pas seuls en cause, tandis que les hauts débits de l'hiver viennent confisquer à l'humble exsurgence toute espèce d'influence.

Il faut donc pour ce microbiotope écarter l'hypothèse d'un conditionnement climatique, au moins exclusif ; la place apparaît libre pour invoquer l'action du gradient carbonique...

\*

---

(\*) Petitesse et transit ralenti par les couches les plus superficielles de l'écorce terrestre suffisent pour expliquer une plus grande amplitude de la variation thermique que celle des sources au débit élevé et d'origine plus profonde. cf : sources secondaires de la Buèges, in fig. 17 a.

ANNEXE XIII

ACTIVITE ET PLAFONNEMENT DES PLANAIRES DANS LE G.C.

- 1) Extraits du Journal d'Expérimentation, 10.IX.63 :

(A : eau carbonique d'amont, B : eau décarbonisée d'aval).

cf. technologie 3.2.2., et statistique au tableau 26.

18.IX.(18<sup>9</sup>). Impression : différence faible entre (A) et (B) ; il semble assez net que P. felina est plus excitable et vivace en (A) qu'en (B) - (comparaison du nombre de Planaires actives).

20.IX - vers 21 h ; Planaires en mouvement : 6 en (A), 2 en (B) - En (B) inertie et plafonnement.

22.IX. - eau souillée par la nourriture (odeur). Planaires de vivacité réduite, d'aspect maladif. Après renouvellement de l'eau, activité : en (A) plus de 50 % ; en (B) : moins de 10 %, le reste léthargique.

25.IX.(18<sup>94</sup>) Lenteur et léthargie en (B), plus vives et plus rapides en (A) - En (B), la progression est lente, l'animal se tortille, ondule, se déforme : difficulté mécanique en rapport avec le dépôt calcaire ? (cependant même comportement sur une zone nettoyée du dépôt calcaire).

28.IX. Impression d'activité comparable en (A) et (B) : surtout pour D. gonocephala. Les P. felina par contre sont plus vives en (A).

2.X.(17<sup>95</sup>) P. felina plus vivaces en (A), léthargiques en (B).  
D. gonocephala : vivacité (A) et (B) comparable.

- 5.X.(17<sup>02</sup>) P. felina : (A) plus vives que (B) - D. gonocephala ?
- 12.X.(16<sup>05</sup>) : En (A), P. felina plus grosses, excitables et vives, malgré tendance au plafonnement (3). En (B), P. felina plafonnent moins (4), mais peu vives, léthargiques ; retrouvent assez bien leur activité lorsque l'eau est renouvelée.
- 14.X. P. felina plus excitables en (A) qu'en (B) avant changement d'eau, et restent plus longtemps en mouvement après. Vivacité en (B) après chaque changement d'eau mais de nouveau inertes rapidement.
- 16.X. P. felina (A) beaucoup plus vives qu'en (B) - D. gonocephala : douteux.
- 19.X.(16<sup>08</sup>) D. gonocephala : plus grosses et vives en (B), plus petites et lentes en (A) - P. felina : à peu près même taille, mais "CHIFFONNÉES", malades, lentes en (B), actives et en bonne santé en (A).
- 21.X. (16<sup>01</sup>) plafonnement (avant changement d'eau) A = F6, G 0 - B = G1. Activité (après changement d'eau) en (A) : F rapides, progressant avec oscillations latérales de la tête comme dans la nature. En (B) : F assez vives, mais plus lentes, progressent sans oscillations.
- 23.X.(16<sup>01</sup>) plafonnement (A) : F3, G1 = 4 ; (B) : F 1  
excitabilité (A) : +++ surtout F ; (B) + surtout G.
- 25.X.(16<sup>02</sup>) plafonnement (A) : 9 ou 10 G et F ; (B) : 1 à 2 G et F.
- 26.X.(16<sup>0</sup>) plafonnement (A) : F 5, G 5 = 10 - (B) : F4, G1 = 5.
- 28.X.(15<sup>05</sup>) plafonnement (A) : F4, G6 = 10 ; (B) : F3, G3 = 6.  
activité: P. felina plus vives en (A).

- 30.X. (14<sup>97</sup>) plafonnement (A) : F3, G3 = 6 ; (B) : F5, G1 = 6.  
à 22 h. activité (A) et (B) bien excitables par la lumière, et vi-  
ves. En (B), P. felina bien vives après changement d'eau.
- 31.X. plafonnement 3 F en (A) ; 4 en (B) : 3 F + 1 G.
- 6.XI (15<sup>9</sup>) panne d'agitateur durant 24 h. - plafonnement (A) : F 4 = 4  
(B) : G 5 = 5.  
Bilan provisoire : impression que, à même oxygénation ini-  
tiale, P. felina plafonne plus que D. gonocephala mais de  
façon comparable en (A) et (B).
- 7.XI.(15<sup>95</sup>) plafonnement (A) : F6 ; (B) : F4.
- 9.XI.(15<sup>9</sup>) plafonnement (A) : F 5, G 1 = 6 ; (B) : F 3, G 6 = 9.
- 13.XI. plafonnement (A) : F 3, G 1 = 4 ; (B) : F 6, G 5 = 11.
- 16.XI.(15<sup>9</sup>) plafonnement (A) : F 4, G 1 = 5 ; (B) : F 2 = 2.  
activité (avant changement d'eau) P. felina très vives en  
(A) ; peu vives en (B). D. gonocephala bien excitables en  
(B).
- 18.XI.(14<sup>95</sup>) plafonnement (A) : F 3, G 1 = 4 ; (B) : F 4 = 4. Les  
D. gonocephala (B) se groupent au voisinage de l'agitateur  
(ponte).  
Bilan provisoire : différences minimales entre (A) et (B), à  
part les P. felina de (A) qui sont un peu plus grosses et  
vives. Expérience à abandonner ...
- 20.XI.(14<sup>99</sup>) plafonnement (A) : F 4, G 1 = 5 ; (B) : F 5 = 5. Toutes les  
G sont à côté de l'agitateur.
- 23.XI.(13<sup>94</sup>) plafonnement (A) : F 2, G 1 = 3 ; (B) : F 4, G 4 = 8.  
activité impression globale, en final (avant changement):  
P. felina et D. gonocephala sont plus actives et excitables  
en A que B.

25.XI.(1304) plafonnement (A) : F 3, G 1 = 4 ; (B) : F 3 = 3.

activité : bilan pour P. felina : plus actives, excitables et vives en (A) qu'en (B).

27.XI.(1305) plafonnement (A) : F 4 = 4 ; (B) : F 3, G 1 = 4.

activité: après 7 jours de jeûne, (A) beaucoup plus affamé que (B)-G. et F. très vivaces en (A) ; D. gonocephala vivaces en (B), mais P. felina léthargiques peu excitables et d'aspect maladif.

30.XI.(1208) plafonnement (A) : F 4 = 4 ; (B) : F 2, G 1 = 3.

Excitabilité à la lumière (avant changement) P. felina : aucune en (A) et (B) ; D. gonocephala : 3 en (A), 1 en (B).  
Bilan : P. felina en (A) 100 % de vivaces, en (B) 50 %, le reste léthargique.

D. gonocephala nettement plus grosses et vives en A.

4.XII.(1306) plafonnement (A) : F 5 = 5 ; (B) : F 1, G 1 = 2.

7.XII.(130) plafonnement (A) : 2 ; (B) : 0.

Activité (A) : F et G vives et excitables : (B) : G assez vives, P. felina particulièrement inertes même après changement.

9.XII.(1302) avant et après changement : P. felina excitables et actives en (A), inertes et léthargiques en (B). D. gonocephala un peu plus excitables et actives en (B).

11.XII.(1205) plafonnement (A) : F 5, G 2 = 7 ; (B) : F 2, G 1 = 3.

agitateur en panne. Activité : D. gonocephala et P. felina, beaucoup plus excitables en (A) qu'en (B) par la lumière et l'agitation violente de l'eau.

14.XII.(1103) plafonnement (A) : F 5, G 1 = 6 ; (B) : F 2, G 2 = 4.

F. et G nettement plus excitables en (A) que (B) avant et après changement d'eau. Globalement, les P. felina paraissent plus vivaces que les D. gonocephala : adaptées au froid.

P. felina de (A) progressent avec oscillations de la tête, vivacité comparable à celle d'animaux venant d'être récoltés.

P. felina en (B), beaucoup plus lentes et "raides" pendant leur progression. Différence beaucoup moins marquée dans l'activité des D. gonocephala.

16.XII.(9<sup>02</sup>) plafonnement (A): F 3, G 1 = 4 ; (B) : F 1, G 1 = 2.  
activité (A) : F et G sont beaucoup plus actives qu'en (B), avant et surtout après changement d'eau (à 13<sup>0</sup>). Plus excitable, plus nombreuses en mouvement, plus longtemps en mouvement. (B) : F et G extrêmement léthargiques, même après changement d'eau.

18.XII.(8<sup>05</sup>) plafonnement (A) : F 6, G 2 = 8 ; (B) : F 3 = 3.  
activité FG après excitants lumineux, mécanique (eau agitée violemment), alimentaire (nourriture)... etc. : A > B.  
- après changement d'eau (1 h. après et 3 h. après): En (A) plus de 50 % d'actives, en (B) : 0 %.

Nota : Depuis quelques jours, adjonction d'un peu moins d'eau de chaux, (B) un peu plus riche en CO<sub>2</sub> (0,20 - 0,25 au lieu de 0,10 - 0,15) : il semble y avoir amélioration dans la vivacité et la croissance des P. felina.

21.XII.(9<sup>0</sup>) plafonnement (A) : F 3, G 1 = 4 ; (B) : F 1, G 1 = 2.  
activité : (A) quelques unes excitable avant, plus de 50 % après changement d'eau ; (B) : léthargiques avant et après.

24.XII.(7<sup>07</sup>) plafonnement (A) : F 3, G 2 = 5 ; (B) : 0 (eau non changée 3 jours 1/2). Activité: Planaires (A) seules excitable avant changement d'eau.

28.XII.63.(8<sup>95</sup>) plafonnement (A) : F 1, G 1 = 2 ; (B) : F 1 = 1.

excitabilité (lumière) D. gonocephala (A) : avant et surtout après changement d'eau. (B) : seulement après et moins nombreuses.

2.1.64.(7<sup>95</sup>) plafonnement (A) : F2, G1 = 3 ; (B) : F1, G1 = 2.

4.1.64.(6<sup>95</sup>) plafonnement (A) : F2, G2 = 4 ; (B) : F3 = 3.

activité : P. felina vivaces et actives en (A) comme dans la nature, léthargiques en (B).

9.I.(fin de l'élevage, après une durée de 4 mois) (7<sup>92</sup>)

plafonnement (A) : F2 = 2 ; (B) : F1 = 1.

Bilan activité : à cette température, P. felina globalement plus active que D. gonocephala ; plus grande en (A) qu'en (B), et plus grande après changement d'eau qu'avant. (nota : eau de changement à 12-13°, soit de quelques degrés plus chaude).

Activité - juste après changement d'eau (A) : 100 % ; (B) : 50 %, le reste léthargique.

- deux heures plus tard (A) : 8 %, (B) : 0, le reste léthargique.

- quatre heures plus tard (A) : 6 %, (B) : 0, le reste léthargique.

Bilan terminal : Pour les 7 D. gonocephala initiales, il reste :

En (A) : 7 G (les plus grosses) : toutes actives et excitables par la lumière.

En (B) : 5 G (une a été tué accidentellement) dont 2 seulement sont excitables par la lumière, et actives.

- Pour les 10 P. felina initiales, il reste :

En (A) : 9 F (les plus grosses) toutes vives, actives, excitables.

En (B) : 8 F, dont 7 léthargiques et une seule active.

- 2) Extraits du Journal d'Expérimentation, 14.XIII.62 :

(cf. technologie 3.2.2.)

- Au contraire du précédent (eau renouvelée périodiquement et décarbonisée par la chaux en B ; température plutôt basse) cet élevage est du type "à débit continu" (3l/h.), eau décarbonisée par ventilation (avec 100 % d'O<sub>2</sub> en B contre 40 à 70 % en A) ; température estivale - peut-être par cristalliseur : 5 D. gonocephala et 5 D. lugubris.

Le plafonnement est noté avant excitation, l'activité : un moment variable après une excitation habituellement triple : lumineuse, mécanique (agitation forte de l'eau) et olfactive (apport de nourriture fraîche). L'élevage a commencé six mois plus tôt.

20.V.63.(20°5) Activité à 21 h. (4 h. après repas) (A) : 65 % en chasse, (B) : 0 %.

24.V.(20°3) plafonnement (A) : 70 % ; (B) = 0 %.

Activité (10' après apport de nourriture et excitation lumineuse, plus mécanique<sup>du</sup>/nettoyage) ;

- en (A) : toutes sont actives, 80 % sont enroulées sur une proie.

- en (B) : 1/3 actives environ et 10 % fixées sur une proie.

27.V. (débit ralenti, A : 23° - B : 22°5).

Plafonnement (sous couvercle) (A) 30 %, (B) 0 %.

Activité vitesse de (A), mesurée, supérieure à (B).

31.V.(24°/22° après accélération du débit : B rafraîchi par ventilation). Plafonnement (avant excitation) : 20 % en (A), 0 en (B) (sur 11 Planaires). Activité (mouvement et surtout prise de nourriture, 2 heures après excitations lumière, agitation et apport de Gammarus sectionnés) : (A) : 66 % ; (B) : 55 %. Vitesse (A) supérieure à vitesse (B).

6.VI.(21<sup>0</sup>) Plafonnement (A) : 10 % ; (B) : 0 %.

Activité nocturne (à 21 h.) (A) : 53 % ; (B) : 22 %.

10.VI.(23<sup>0</sup>/22<sup>0</sup> après accélération du débit) - arrêt du débit de 24 h.,  
signes de souffrance en (A) (asphyxie ?). Plafonnement (A) :  
30 %, (B) : 0 %. Vitesse de (B) mesurée supérieure à (A).

11.VI.(21<sup>0</sup>) débit rapide. Les P. lugubris ont été mises en "cages" à  
claire voie, immergées au fond du cristalliseur ; elles pla-  
fonnent à 90 % en (A) ; 10 % en (B). Rôle du CO<sub>2</sub> ?

13.VI.(22<sup>05</sup>) Plafonnement (des P. lugubris, en cage) (A) : 50 % ;  
(B) : 0 %.

17.VI.(22<sup>05</sup>) Activité avant excitation mécanique, globalement les  
D. gonocephala sont lentes et peu actives (chaleur ?), sur-  
tout en (B). Après 30 minutes d'excitation lumineuse et mé-  
canique (nettoyage), eau renouvelée de température inférieure  
à 20<sup>0</sup> : activité des D. gonocephala 100 % en (A), 40 % en  
(B). Plafonnement (des D. lugubris) (A) : 90 % ; (B) : 0 %.

24.VI.(25<sup>0</sup>/26<sup>0</sup>) Plafonnement (D. gonocephala plus D. lugubris) 33 % en  
(A), 0 % en (B) - Excitabilité (5 minutes après éclairage  
intense) : (A) 100 % ; (B) 40 % des D. lugubris :  
D. gonocephala inexcitables, torpeur (chaleur ?) ; elles  
seront mortes le lendemain.

ANNEXE XIV

---

DIFFERENCIATION DANS LE G. C. DE LA MATURATION GENITALE

---

Contrôle histologique de l'élevage 12.12.62<sup>(\*)</sup>

- TECHNIQUE - Planaires tuées en extension par l'acide nitrique au 1/10 puis lavées aussitôt.
- Fixation au mélange de Dubosc-Brasil, en position rigoureusement plane par compression légère entre 2 lamelles de buvard surmontées d'un fragment de lame de verre.
  - Inclusion à la paraffine, coupes de 5 à 10  $\mu$ , coloration à l'hématoxyline ferrique surcolorée : soit trichromique de Masson, soit Mann biacide.<sup>(\*\*)</sup>

- EXAMEN - 6 Planaires sont observées chaque mois : 3 P. felina et 3 D. gonocephala, en provenance des 3 élevages différenciés ...
- (A) amont : source carbonique et naturellement pauvre en fer.
  - (AF) amont ferreux : la même, enrichie en fer.
  - (B) aval : la même, décarbonisée par ventilation.

Chaque fois c'est la Planaire la plus développée du lot qui a été prélevée.

- 1<sup>o</sup>) le 23 janvier 63, après 42 j. d'élevage, à la température : 10 à 8<sup>o</sup>.

- P. felina : taille AF > A > B - Les exemplaires (A) et (B) sont immatures du point de vue génital : ovaires petits, vitellogènes non

---

(\*) cf. 3.3.2.

(\*\*) Langeron, Policard, ...

développés. Spermatogénèse assez active, premiers stades surtout. Appareil copulateur assez bien développé. OMG (organes musculo-glandulaires) non sécrétant. Peut-être l'appareil copulateur de (A) est-il un peu plus développé que (B) : rien de net ?

L'exemplaire (AF) par contre montre un ovaire beaucoup plus mûr, et de nombreux spermatozoïdes.

- D. gonocephala : très petites, non étudiées.

- 2<sup>o</sup>) le 25 février, après 74 j. d'élevage, température 6-8° ;

- P. felina : taille AF > A > B : 12-10-9 mm - maturation génitale plus avancée, avec un gradient croissant très net de B en AF.

(B) : ovaires bien développés, pas de vitellogène - Spermatogénèse : premier stade surtout, pas de spermatozoïdes, arrêt au stade spermatide. Nombreuses vésicules testiculaires avec lumière vide - OMG avec légère sécrétion. Le parenchyme apparaît riche en formations musculaires et conjonctives.

(A) : ovaires et vitellogènes développés - Spermatogénèse et spermiogénèse complètes - OMG bien sécrétants.

(AF) : mêmes aspects qu'en A mais portés au maximum : ovules mûrs, vitellogènes surabondants qui envahissent tout le parenchyme, ce dernier paraît plus riche en cellules que celui de (B) où abondent mucus et collagène. Spermatogénèse : surtout stades terminaux : bouquets de spermatozoïdes, vésicules séminales bourrées, cependant que les stades initiaux semblent devenus rares. Sécrétion abondante des OMG et développement maximum de l'appareil copulateur.

- D. gonocephala : 7 mm environ - sexualité embryonnaire : ébauches de cordons pleins latéro-pharyngiens, et densification cellulaire à l'emplacement du futur appareil copulateur. Pas de différences notable entre les divers élevages.

- 3<sup>e</sup>) le 25 mars, après 103 j. d'élevage, température 8-12°

- P. felina : la taille comparable pour (A) et (AF) : 15 x 2,5 mm l'emporte encore sur celle de (B) : 13 x 2 mm - Même gradient, mais à un stade plus avancé semble-t-il, que celui observé en février.

(B) : ovules mûrs, vitellogènes bien développés, spermatogénèse complète, vésicules séminales bourrées de spermatozoïdes, appareil copulateur mûr et OMG bien sécrétants.

Tube digestif vide d'aspect peu actif - Beaucoup de collagène dans le mésenchyme.

(A) : aspect comparable à (B), mais à un degré supérieur : ovules plus gros, au maximum, spermatogénèse plus fournie, de même pour le vitellogène (davantage de granulation). Vésicules et appareil copulateur semblables à ceux de (B) - OMG très développés - Tube digestif actif.

(AF) : développement considérable des formations digestives, envahissement du parenchyme par les coecums. Ovaires petits : aspect clairsemé, vitellogènes réduits (en involution ?) . Involution nette du testis : nombreuses vésicules mais sans spermatozoïdes, les premiers stades dominant - (gonies). OMG non sécrétants, aspect rataatiné du pénis, vésicules séminales vides.

- D. gonocephala : (A) et (AF) sont les plus grosses et de taille comparable : 13 x 2 mm ; (B) un peu plus petit ; même gradation pour l'appareil génital.

(B) : cellules germinales (?) isolées de part et d'autre du pharynx - pas vu d'ébauche ovarienne - beaucoup de collagène dans le mésenchyme.

(A) : ovaires bien différenciés avec nombreuses images de divisions - cordons pleins testiculaires nombreux avec début de creusement en certains points : lumière vide - condensation cellulaire dans la région de l'appareil copulateur.

(AF) : ovaires développés comme en (A), mais testis et appareil copulateur plus avancés encore : quelques vésicules bien formées et bouquets de spermatides, pore génital externe bien développé...

- 4<sup>o</sup>) le 25 avril, après 134 j. d'élevage, température 11 à 14°.

- P. felina : 3 Planaires de taille comparable. Pas de gradation histologique entre (A) et (AF), (B) est en retrait.

Maturité génitale pour tous : ovaires parfaitement développés et vitellogènes, spermatogénèse active et vésicules séminales pleines, OMG sécrétants, etc... (A), (AF), et même (B) sont comparables pour la lignée mâle et l'appareil copulateur.

(B) tranche par un ovaire plus petit, et surtout un vitellogène bien moins abondant.

- D. gonocephala : à la gradation somatique inversée évidente : taille dégressive de (B) en (AF), correspond pour (B) une avance dans la maturation de la lignée mâle (spermatozoïdes) et un retard dans le développement de l'ovaire et des vitellogènes : rien de très net.

#### CONCLUSIONS

- 1<sup>o</sup>) Sans être spectaculaires, ces divers résultats nous semblent illustrer et préciser l'orientation déduite déjà de l'observation macroscopique, savoir : qu'à basse température, à nourriture

égale, etc... et malgré une moindre oxygénation (teneur en  $O_2$ , agitation), la MATURATION GENITALE de P. felina (février, mars), et moins nettement de D. gonocephala (mars), s'effectue de façon plus rapide et plus achevée dans les élevages carboniques ; peut-être est-ce vrai davantage pour la lignée femelle (ovaire, vitellogènes) et peut-être la présence de fer dissous rend-elle encore plus favorable l'influence de l'amont ?

Les discordances relevées pour les P. felina de (AF) en mars, et pour les D. gonocephala en avril, nous semblent devoir être attribuées aux températures en hausse, synonymes en A (confiné) et plus encore en AF (stagnant) de sous-oxygénation.

- 2°) Autre conclusion, négative : avec une réserve tenant au fait que dans la nature peuvent se produire en aval des décarbonisations plus poussées encore, constatons que dans notre élevage une certaine maturation sexuelle a été possible en aval, autrement dit que le  $CO_2$  libre ne se présente pas comme une condition sine qua non de la sexualisation<sup>(\*)</sup>, mais plus simplement peut-être comme un facteur non spécifique favorable au métabolisme en général et à la croissance, donc aussi à cette maturation sexuelle. Une telle conclusion s'inscrit en retrait par conséquent sur celle<sup>(\*\*)</sup> de LOOMIS, concernant l'action de la  $pCO_2$  sur la sexualisation d'Hydra littoralis<sup>(\*\*\*)</sup> ; divergence qui ne nous empêche nullement d'ailleurs de devoir beaucoup aux travaux de cet auteur.

---

(\*) Nous disons bien le  $CO_2$ , et non pas le fer apporté ici, même en aval, dans la nourriture.

(\*\*) Position contestée par Brien.

(\*\*\*) LOOMIS (1959) : "(par notre étude) il a été démontré que la pression de  $CO_2$  est capable d'induire la différenciation sexuelle reversiblement, sous certaines conditions, chez Hydra littoralis. En général il apparaît que le niveau de la  $pCO_2$  aux alentours de la cellule vivante est une des plus labiles autant que des plus négligées parmi toutes les variables biologiques, et pourtant capable de régulariser à la fois le taux de la division cellulaire et le processus de la différenciation sexuelle" (p. 291).



ANNEXE XV

---

DIFFERENCES DE COMPORTEMENT ALIMENTAIRE EN ELEVAGE

---

(Extraits du journal d'Expérimentation : 10.09.63<sup>\*</sup>)

Deux élevages totalisant une trentaine de D. gonocephala et P. felina en nombre équivalent ; observation du 10 septembre au 10 janvier 1964.

- 11 sept. (18<sup>h</sup>5) après un jeûne de 60 j., essai d'alimentation avec du fromage de gruyère finement râpé.

Globalement les planaires se montrent d'abord rebutées par cette nourriture : s'approchent puis refluent avec précipitation. Deux D. G. finissent après hésitation par essayer de manger (enroulement et protrusion du pharynx) mais sans résultat apparent. Les copeaux, supposés trop consistants, sont alors mis à macérer dans un peu d'eau.

- 13 sept. observé D. G. attirées par gruyère : enroulement, mais ne paraissent pas se gonfler de nourriture.

- 15 sept. Répugnance absolue de toutes les P. F. pour le <sup>g</sup>ruyère : signes de répulsion +++++. Quelques D. gonocephala s'enroulent et essaient de manger.

- 16 sept. changement de nourriture : gammares coupés en deux d'un coup de pince.

- 25 sept. les gammares ne paraissent pas plaire aux petites P. felina, ni même aux petites D. gonocephala. Grosses D. G. voraces, grosses P. F. peu avides, mais prise de nourriture cependant.

---

\* cf. d'autres aspects de cette expérience : 1.3.1., 3.2.2., 3.3.2., annexe XIII.

- 9 octobre (16<sup>05</sup>). P. felina : les grosses (8-10 mm) se nourrissent de gammarès et grossissent, les plus petites (3-4 mm) semblent rester stationnaires ou maigrir ; les D. G. sont les plus voraces de beaucoup.
- 13 novembre (15<sup>0</sup>). Contraste entre les plus grosses P. felina qui continuent de grossir et les petites de quelques mm : stationnaires.
- 9 janv. 64 (7<sup>02</sup>) - Dans l'élevage le plus favorable, P. felina et D. gonocephala ont en moyenne doublé leur taille en 4 mois ; de plus, il y a eu ponte pour D. gonocephala. On a également observé que depuis la baisse de température l'appétit de P. felina s'est accru, diminution au contraire pour D. gonocephala, etc...

CONCLUSIONS :

Voracité différente selon l'aliment (fromage, gammare), selon l'espèce (pour un même aliment), selon l'âge (la taille), selon la température...

Peut-être aussi notion d'accoutumance, différente selon l'espèce, à un aliment inhabituel (fromage).

ANNEXE XVI

---

INDEX RECAPITULATIF DES EXPERIENCES CITEES  
(dans l'ordre numérique : quotidien/mensuel/annuel)

---

| Exp.            | Texte  | Fig. |                                                                                              |
|-----------------|--------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <u>01.04.63</u> | 1.2.2. |      | - influence différenciée de la température (eurythermie froide) pour deux espèces d'amont.   |
|                 | 3.3.3. |      | - toxicité organique et irréversible de la recarbonisation.                                  |
| <u>01.06.63</u> | 1.2.2. |      | - l'eurythermie froide ne nuit en rien au développement de <u>P. felina</u> .                |
|                 | 3.3.3. |      | - toxicité pour <u>P. felina</u> , physiologique et biologique, de la recarbonisation.       |
|                 | 3.4.2. | 29b  | - influence de $/CO_2/$ et $/Fe^{++}/$ sur le développement d' <u>Aneura pinguis</u> .       |
| <u>04.07.62</u> | 1.2.2. |      | - influence de la température (9° et 21°) sur le développement de <u>D. subtentaculata</u> . |
|                 | 1.3.3. |      | - influence favorable de l'agitation (courant) sur son développement.                        |
| <u>08.01.63</u> | 3.2.1. |      | - chimiotropisme de <u>P. felina</u> dans le G. C.                                           |
| <u>09.09.63</u> | 1.3.3. | 29a  | - rôle de l'agitation de l'eau dans les échanges nutritifs de $CO_2$ , $O_2$ et Fer dissous. |
|                 | 3.4.2. | "    | - influence de $/CO_2/$ et $/Fe^{++}/$ sur le développement de <u>Phormidium</u> .           |
| <u>10.09.63</u> | 1.3.1. |      | - rôle du courant dans l'oxygénation : rhéophilie et besoins d' $O_2$ .                      |
|                 | 3.2.2. | 26   | - activité et plafonnement dans le G. C.                                                     |
| Annexe XIII     | "      |      | - activité et plafonnement dans le G. C.                                                     |
| An. XV          |        |      | - différents comportements alimentaires des Planaires.                                       |

| Exp.                    | Texte       | Fig.     |                                                                                     |
|-------------------------|-------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <u>12.09.62</u>         | 1.2.2.      | 28       | - mortalité suivant les espèces à différentes températures.                         |
|                         | 2.2.3.      |          | - température et solubilité du fer ferreux.                                         |
|                         | 3.3.1.      | "        | - mortalité dans le G. C.                                                           |
| <u>12.09.62</u><br>(B)* | 3.3.2.      |          | - éclosions de cocons de <u>D. gonocephala</u> dans le G. C.                        |
| <u>12.12.62</u>         | 3.3.2.      |          | - croissance et maturation sexuelle dans le G.C.                                    |
|                         | Annexe XIV  |          | - croissance et maturation sexuelle dans le G.C.: contrôle histologique.            |
|                         | 3.3.3.      |          | - a-toxicité de la surcarbonisation d'une eau de source.                            |
|                         | 3.4.3.      |          | - <u>P. felina</u> et milieu riche en fer.                                          |
| <u>14.12.62</u>         | 2.2.2.      | 11       | - gradient hydrologique expérimental : effets de l'aération.                        |
|                         | 3.2.2.      |          | - vitesse de déplacement de <u>D. gonocephala</u> dans le G. C.                     |
|                         | 3.3.2.      |          | - ponte de <u>D. gonocephala</u> dans le G. C.                                      |
|                         | Annexe XIII |          | - activité et plafonnement dans le G. C.                                            |
| <u>14.12.63</u>         | 3.3.1.      |          | - morbidité, mortalité dans le G. C. pour <u>D. gonocephala</u> , <u>Gammarus</u> . |
|                         | 3.4.1.      |          | - carnivorisme de <u>D. gonocephala</u> .                                           |
| <u>16.01.63</u>         | 2.2.3.      |          | - influence de la température sur la diffusion de CO <sub>2</sub> .                 |
| <u>19.11.63</u>         | 1.3.2.      | 25c & 24 | - influence du courant sur le chimiotropisme carbonique.                            |
|                         | 3.2.1.      | "        | - chimiotropisme dans le G. C.                                                      |
|                         | 3.3.1.      | "        | - morbidité - mortalité dans le G. C.                                               |
|                         | 3.4.1.      | "        | - carnivorisme (?) des Planaires.                                                   |

\* expérience distincte, pourvue du même numéro d'identification que la précédente.

| Exp.                    | Texte  | Fig. |                                                                                    |
|-------------------------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------|
| <u>20.03.63</u>         | 3.3.2. |      | - éclosion différenciée de cocons dans le G. C.                                    |
| <u>21.03.63</u>         | 3.3.3. |      | - toxicité de la recarbonisation.                                                  |
| <u>21.03.63</u><br>(B)* | 3.4.2. |      | - action du G. C. sur la microflore (Rhodophycée).                                 |
| <u>21.04.62</u>         | 1.3.1. |      | - rhéophilie de <u>D. gonocephala</u> .                                            |
| <u>21.10.63</u>         | 2.2.3. |      | - influence (directe) de la température sur la solubilité du fer.                  |
| <u>21.12.63</u>         | 1.2.2. |      | - mortalité à 0°, différente selon les espèces.                                    |
| <u>22.05.61</u>         | 3.3.2. |      | - nasses dans le G. C. : différences de développement pour <u>D. gonocephala</u> . |
| <u>22.05.63</u>         | 3.3.1. |      | - survivance dans le G. C. de Planaires nouvellement écloses.                      |
|                         | 3.3.2. |      | - éclosion dans le G. C. de cocons de <u>D. gonocephala</u> .                      |
| <u>23.11.63</u>         | 1.2.2. | 25a  | - annulation ou inversion d'un chimiotropisme & suivant l'agitation.               |
|                         | 3.2.1. | 24   | - chimiotropisme dans le G. C. ( <u>D. subtentaculata</u> ).                       |
| <u>24.08.62</u>         | 3.2.3. | 27a  | - combustions métaboliques dans le G. C. ( <u>D. subtentaculata</u> ).             |
|                         | 3.3.3. | "    | - effets contradictoires, bons et mauvais, de faibles recarbonisations.            |
| <u>25.02.63</u>         | 3.4.3. |      | - tentative avortée d'implantation de <u>P. felina</u> en source calcaire.         |
| <u>25.10.63</u>         | 3.3.1. |      | - survivance de nouveaux-nés, différenciée dans le G. C.                           |
| <u>25.10.63</u> *       | 3.2.3. | 27b  | - respiration et métabolisme dans le G. C. (Planaires d'amont).                    |
|                         | 3.3.3. | "    | - toxicité de la recarbonisation pour <u>P. felina</u> .                           |

\* cf. note p. 134.

| <u>Exp.</u>     | <u>Texte</u> | <u>Fig.</u> |                                                                                         |
|-----------------|--------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| <u>29.09.63</u> | 1.2.2.       | 24          | - inhibition d'un chimiotropisme par des températures "plafond".                        |
|                 | 3.2.1.       | "           | - de -                                                                                  |
| <u>30.05.63</u> | 2.2.2.       | II          | - gradient carbonique expérimental effets de l'aération.                                |
|                 | 3.4.2.       |             | - action du G. C. sur la microflore benthique.                                          |
| <u>30.09.63</u> | 1.2.2.       | 25b         | - inhibition d'un chimiotropisme par des températures "plafond".                        |
|                 | &            |             |                                                                                         |
|                 | 1.3.2.       | 24          | - inhibition d'un chimiotropisme par une inégalité de courant.                          |
|                 | 3.2.1.       | "           | - chimiotropisme dans le G. C. de Planaires d'amont et d'aval.                          |
|                 | 3.4.2.       | "           | - différenciation dans le G. C. de la microflore épilithique.                           |
| <u>31.03.62</u> | 3.4.3.       |             | - tentative avortée d'implantation de <u>P. felina</u> en eau calcaire (pauvre en fer). |

ANNEXE XVII

|                                              |
|----------------------------------------------|
| <p>S U M M A R Y<br/>(Résumé en Anglais)</p> |
|----------------------------------------------|

FIRST PART

Before starting on the problem of the relations possibly to exist in running water between carbonic acid gradients and Planaria, we had to acquaint ourselves with the known facts concerning the habitat of this group, and to enumerate and study the principal factors already known to intervene, and therefore capable of interfering in nature as well as in the laboratory with the action of  $\text{CO}_2$  (if this action be significant). A hasty survey or a knowledge of the literature only would not have sufficed. We had to verify "on the spot", in our region, for the species we met, the major laws which govern the Planaria in their environment ; this was in order to be in a position to define the impact of each factor on the observed phenomena, to take the impact into account during the working out of the experimentation, and finally to determine the possible place of  $\text{CO}_2$  within the group of ecological determinants.

This regionalized and particularised survey of the DISTRIBUTION of Planaria and of the PRINCIPAL FACTORS that influence it constitutes the theme of our FIRST PART :

- 1) Distribution in the Mediterranean area of the Languedoc of several species widely found in running water : faunistic, biological and demographic aspects according to the altitude, to the hydrography and hydrogeology, finally according to the seasons. This study suggests the determining role of the climate in this multiform distribution.

- 2) By observation, analysis, and experimentation, we are able to show that the first factor, TEMPERATURE, intervenes by way of its mean estival level much more than by the amplitude of its variation; which thesis contradicts the classic steno-eurythermic theory.

- 3-4) Analysis, experimentation, or information gathered from the literature are used here to clarify the effect on Planaria, and the mechanism of action, of the two other factors : CURRENT and DISSOLVED OXYGEN content. Current acts simultaneously as a neural stimulant and as a parameter of pertegumentary respiratory exchanges ; as for oxygen, its influence appears to be very secondary as compared to that of temperature and current, which both decisively determine the oxygen content and render it satisfying or not for the animal's needs.

Conclusion : decreasing respective importance in running water for the three classically known factors : in order, temperature, current, and well behind these two dissolved oxygen.

We can now begin without risking any major error of interpretation the study of a newly suspected factor : dissolved CO<sub>2</sub>.

## SECOND PART

This part, devoted to a detailed analysis of the carbonic acid gradient in running water and of parallel ecological phenomena, supports our hypothesis that there is a relation between carbon dioxide and ecology.

- 1) The first obstacle encountered was the problem of determining the free dissolved CO<sub>2</sub> content in natural water. The proposed solution<sup>\*</sup> to this difficulty, a combined acidmetric and graphic

---

\* cf. Annexe VII : Summary of the method for the determination of CO<sub>2</sub>.

method appears to me to meet the needs of ecological practice : (a) by virtue of its rapidity (since the great variability of CO<sub>2</sub> contents demands multiple and repeated samplings), and (b) by virtue of its precision (indispensable since the usual concentrations of CO<sub>2</sub> are weak as compared to those of bicarbonates, silicious colloïds, various organic contaminants, etc..., all major disturbers in the classic acid-metric method).

- 2-3) There follow some generalities on the origin and dynamics of hydrogeologic CO<sub>2</sub> ; the experimental reproduction of the CO<sub>2</sub> impoverishment observed in nature throws a light on the mechanism of the CO<sub>2</sub> gradient, its constituents, and the principal factors that influence it. A bibliographic synthesis then assembles several essential theoretical notions on these constituents ; intricacy and possible biological effects.

- 4-5) Graphic analysis and observation of several gradients in the natural environment : hydrochemical and pedologic manifestations - variations according to the terrain of origin of the springs, to the volume and profile of the water-course, to the season, the climate, etc...

... Which ends with an attempt at a synthesis, under the single heading of a "hydropedologic carbonic aeration gradient". The notion of a carbon dioxide gradient is seen to be applicable universally in time and space ; in particular it is shown that a water-course involves in addition to the principal gradient (macro-CO<sub>2</sub> gradient) numerous secondary gradients, tiny and most often latent (micro-CO<sub>2</sub> gradient) whose roles in ecology will reveal themselves to be capital.

- 6-7) Does ecological observation now permit us to consider the aquatic flora and the Planaria to be conditioned by the natural carbonic gradients thus defined ?

For the flora the unquestionable relation existing between it and the gradient is such that it allows us to use this flora as a sign indicating a latent emergence of hypogeous water (underground water).

In the case of the Planaria (without questioning the climatic principle of their distribution) one notices various coincidences in the macro-gradient of the water courses, among which the usual one between asexual reproduction, a curtailed biology as if "marginal", and the habitats poorest in free  $\text{CO}_2$ .

It was mainly as a result of the study of three spots, microbiotopes centered by carbonic micro-gradients, that our initial hypothesis of a possible ecological influence of  $\text{CO}_2$  became a strong presumption : nascent underground waters (representing the upper range of a  $\text{CO}_2$  gradient) seem indeed - in comparison with water downstream from the source, lower range of the  $\text{CO}_2$  gradient - to attract Planaria and to be more favorable apparently for their physiology, reproduction, survival, population abundance, etc... The multiple secondary gradients in a water-course seem to allow the different species to reconcile their various climatic needs with hydrochemical requirements and advantages.

But observation and analysis cannot alone give certainty, whence a...

### THIRD PART

Experimental section, which is intended to establish and define the absolute and relative influences of the "carbonic gradient factor" on the ecology of the Planaria.

- 1) After a general review of the EXPERIMENTAL PROCEDURES used, including the outline of the method for rearing the Planaria, ...

- 2) ... the study of the PHYSIOLOGICAL EFFECTS of the CO<sub>2</sub> gradient shows :

- that it is at the origin of a chemotropism,
- that nascent water favors sensory-motor activity because of its richness in CO<sub>2</sub>,
- that this nascent water, as opposed to water from further downstream, also stimulates respiratory combustions i. e. the metabolism.

- 3) Direct BIOLOGICAL EFFECTS of the CO<sub>2</sub> gradient are demonstrated. The beneficial effects of nascent water are apparent on a longer term basis :

- mortality under stress conditions appears to be lower than in better aerated waters (further downstream),
- growth and sexual maturation are also found to be favored, although the experimental results here are less decisive ; experimentation was made difficult by the necessity for prolonged control without failing at any point ; the relative uncertainty of the results was definitely due in part to a lack of material means.
- the observation of toxic effects found when aerated water subsequently artificially re-enriched with CO<sub>2</sub> was used "in vitro" testifies to the importance of the other constituents of a CO<sub>2</sub> gradient. The absence of mineral colloids normally present in a natural water no doubt explains this paradox.

- 4) ECOLOGICAL EFFECTS of C. G. Experimental proof of the positive role played towards the benthic microflora by free CO<sub>2</sub> and the metallic oligo-elements associated with it in fresh water. After which it is shown that Planaria for their principal source of food

draw on this microflora, and not at all on the irregularly available supply of animal material (gammarus).

Thus successive links are established of a probable INDIRECT relation between hydrochemistry and Planaria by way of their food supply ; this supply, being more abundant and richer in indispensable oligo-elements with upper ranges of a  $\text{CO}_2$  gradient than with lower ones, could perhaps influence the implantation of species, the biological development, the demographic expansion... ?

In the discussion it is concluded however that this type of indirect ecological conditionning does not reveal itself in running water habitats : indeed either such indirect effects yield up to the direct action of the  $\text{CO}_2$ , or the ecological determination mainly depends to manifest itself on other factors (climate, soil)... In short: assured connivance, but not influence.

#### CONCLUSIONS

- 1) In this work certain notions have been acquired, for Planaria but also probably for other groups, as regards the intervention in the "ecological concert" of the multiple carbonic gradients which can be observed in running water : chemotropism, beneficial action of upstream hydrochemistry on sensitive-motive activity, the metabolism, the resistance to stresses of all kinds, and undoubtedly on the growth and sexualization, demographic expansion, etc..., all these indicate THE ABSOLUTE INFLUENCE of a hydrological factor universally present.

- 2) RELATIVELY TO THE OTHER ECOLOGICAL FACTORS, this influence of C. G. does not put the primordial role of climatic conditions into any doubt, but on the contrary completes it by intervening

on a different level : temperature keeps first responsibility in biological and faunistic distribution of the Planaria on a large scale, whereas the micro-localisations would depend on the presence of hypogaeous affluences (carbonic micro-gradients) at least as much as on the "current" factor and much more than on the oxygen rates... consequently a narrow conjunction, even intricacy of hydrophysics and hydrochemistry in the biology of running water.

- 3) At last the MECHANICS OF ACTION of C. G. : our evidence shows them to be multiple and complex (direct influence of diffusible  $\text{CO}_2$  balancing with  $\text{CaCO}_3$ , with mineral colloïds ; indirect influence on micro-flora of  $\text{pCO}_2$  and iron, etc...), but many questions on this subject are left unanswered, the hypothesis is more roomy than established facts.

#### APPENDIX

Several annexed pages treat either collateral problems met during the course of this work, or observations or experiments which, without bringing really new elements into light, illustrate or confirm the subject. Their presence would have weighed down an already superabundant text without improving the demonstration itself ; one can consult them but not be impeded.



ANNEXE XVIII

---

Auteurs cités et consultés

B I B L I O G R A P H I E

---

1. ABELOOS (M.), 1930.- Recherches expérimentales sur la croissance et la régénération chez les Planaires. (Bull. Biol. Fr. et Belg., Vol. 64, fasc. 1, 1-140).
2. AGALEDE (H.), 1944.- Mode de formation des calcaires dolomitiques du Jurassique Moyen et Supérieur dans la région des Causses Majeurs. (Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse, 79, 201-222).
3. ALAUSE (P.), 1962.- Gradient d'acidité carbonique dans deux rivières du département de l'Hérault et écologie de Polycelis felina Dalyell (= P. cornuta johnson). (Vie et Milieu, XIII, fasc. 2, 341-358).
4. ALAUSE (P.), 1964.- Détermination du CO<sub>2</sub> libre des eaux courantes en pratique écologique, par une méthode mixte de mesure, acidimétrique et graphique. (Vie et Milieu, XV, fasc. 2, 429-449).
5. AMOUREUX (L.), 1963.- Etude des teneurs en oxygène dans les eaux interstitielles de l'Aber de Roscoff. (Cahiers Biol. Marine IX, fasc. 1, 23-32).
6. ANGELIER (E.), 1953.- Recherches écologiques et biogéographiques sur la faune des sables submergés. (Arch. Zool. Exp., XC, fasc. 2, 37-161).
7. BANCAL (A.), 1953.- Quelques caractéristiques de l'hydrologie souterraine du Languedoc méditerranéen. (1er Congrès International de Spéléologie, II, 123-126).

8. BEKLEMISCHEFF (V.N?), 1903.- Quelques problèmes de la distribution géographique des Triclades Paludicoles. (Russ. Hydrob. Zeitschr., vol. 2).
9. BENAZZI (M.), 1928.- Modalità di riproduzione osservate e sperimentate in Polycelis cornuta (Johnson). (Riv. Biol., Vol. 10).
10. BENAZZI (M.), 1955.- Appunti sulla distribuzione dei Tricladi in Italia. (Boll. di Zoologia, XXII, fasc. 2, 149-164).
11. BENEZECH (C.), 1958.- Physico-chimie biologique et médicale. (Masson Editeur, 685 p.).
12. BERTIN (L.), 1939.- Géologie et Paléontologie. (Larousse éditeur).
13. BERTIN-SANZ (H.) et RODET (A.), 1905.- L'eau d'alimentation de Montpellier : étude sur la Source du Lez. (Impr. Serre et Roumegous, Montpellier).
14. BLÄSING (I.), 1953.- Experimentellen Untersuchungen über den Umfang der ökologischen und physiologischen Toleranz von Planaria alpina Dana und Planaria gonocephala Dugès. (Zool. Jb, Abt. Allg. Zool. u. Physiol., 64, 112-152).
15. BOCHERT (H.), 1951.- Zur geochemie der Kohlenstoffs. (Geochimica et cosmochemica acta, Vol. 2, n° 1, 62-75).
16. BODENHEIMER (F.S.), 1955.- Précis d'écologie animale. (Payot Edit. Paris, 315 p.).
17. BORESCH (K.), 1921.- Ein Fall von Eisenchlorose bei Cyanophyceen. (Arch. f. Protistenk., 43, 485).
18. BRAJNIKOV (B.) ; FRANCIS-BOEUF (C.) et ROMANOVSKI (V.), 1943.- Techniques d'études des sédiments et des eaux qui leur sont associées. (Act. Sci., Ind. Fr., Hermann, Paris, 110 p.).
19. BREHM (V.), 1942.- Résumé du travail de Thienemann 1938. (Inst. Rev. Hydrobiol. 41, 455-456).

20. BRIEN (P.), 1961.- Etude d'Hydra pirardi (nov. spec.). (Bull. Biol. Fr. et Belg., 95, fasc. 2, 301-364).
21. BRONSTED (H.V.), 1955.- Planarian regeneration. (Biol. Reviews 30, 65-126).
22. BROUARDEL (J.) et VERNET (U.), 1958.- Recherches expérimentales sur la variation en Méditerranée de la teneur en oxygène de l'eau au proche voisinage des sédiments. (Bull. Inst. Océan. Monaco, III, 34 p.).
23. BRUCE (J.R.), 1928 (b).- Physical factors on the Sandy beach ; II. Chemical changes carbone dioxide concentration and sulphides. (J. mar. biol. Ass. Unit. Kingd. 15, 553-566).
24. CARVALHO (A.H. de), 1953.- As soluções aquosas naturais de silica (Nota preliminar). (Rev. Fac. Ciencias Lisboa, 2º sér., B Vol.II, 85-96).
25. CARVALHO (A.H. de), 1956.- Preuve analytique indirecte de l'existence de l'anion silicate dans les eaux naturelles. (XVº Congrès Chimie analytique, Lisbonne - "Acta do Congresso" III Vol. IX-6, 8 p.).
26. CARO (P.), 1963.- La composition chimique des eaux en terrain calcaire. (Spelunca, Mémoires n° 3, 39-47 -actes du 5ème Congrès National).
27. CASOLI (M.T.), 1959.- Température lethale et réaction à la lumière de quelques larves de Trichoptères (Polycentropus flavomaculatus Pict. 1834 - Micropterna testacea Gmel 1788). D.E.S. Lyon, 1959.
28. CHARLOT (G.) et BEZIER (D), 1955.- Analyse quantitative minérale. (Masson éditeur, 3º édit.).
29. CONRAD (W.), 1942.- Sur la flore et la faune d'un ruisseau de l'Ardenne Belge. (Mem. Mus. Roy. Hist. Nat. Belg., 99, 178 p.).

30. COSSA (P.), 1942.- Physiopathologie du système nerveux. (Masson Editeur Paris, 898).
31. DAVENPORT (H.W.), 1962.- A-B-C de l'équilibre biochimique acidobasique. (Masson éditeur Paris).
32. DE BEAUCHAMP (P.), 1932.- Turbellariés, Hirudinées, Branchiobdellidés. (Biospeleologica LVI - Arch. Zool. exp., LXIII).
33. DE BEAUCHAMP (P.), 1946.- Présence en France d'une planaire américaine. (Bull. Soc. Zool. Fr., LXXI, 210-212).
34. DE BEAUCHAMP (P.), 1953.- Sur quelques formes de Triclades d'eau douce et leur répartition en Europe. (Ann. Stat. Centr. Hydrobiol. appl., fasc. hors série, 177-181).
35. DE BEAUCHAMP (P.), 1961.- Embranchement des Plathelminthes : classe des Turbellariés. (Traité de Zoöl. P.P. GRASSE, IV, fasc. 1, Masson édit.).
36. DE GENNES (L.), 1949.- Maladies des glandes endocrines. (Edit. Flammarion - Coll. Med. Chir.).
37. DELAMARE-DEBOUTTEVILLE (C.), 1960.- Biologie des eaux souterraines littorales et continentales. (Hermann édit.).
38. DELMAS (J.) et DELMAS (A.), 1946.- Voies et centres nerveux. (Masson édit., 165 p.).
39. DEMOLON (A.), 1960.- Principes d'Agronomie : I. Dynamique du sol. (Dunod, 5<sup>e</sup> édit. 520 p.).
40. DORIER (A.) et VAILLANT (F.), 1948.- Sur la vitesse du courant et la répartition des Invertébrés rhéophiles. (C.R. Ac. Sci. Paris, vol. 226).
41. DORIER (A.) et VAILLANT (F.), 1948.- Sur la résistance au courant de quelques Invertébrés rhéophiles. (Trav. Labor. Hydrob. piscic. Univ. Grenoble , Vol. 37-40).

42. DRAPARNAUD (J.-P.R.), 1801.- Tableau des Mollusques terrestres et fluviales de la France. (Montpellier, 100-102).
43. DUBOIS (F.), 1946.-
  - a) Rythme saisonnier de ponte chez les Planaires d'eau douce dans leur milieu naturel et en élevage.
  - b) Influence de l'inanition et de la nutrition sur la ponte des Planaires d'eau douce.(C. R. Soc. Biol., Vol. 140, 881-885).
44. DUBOIS (P.), 1958.- Etude des réseaux souterrains des rivières Buèges et Virenque (Bas Languedoc). (Actes du 2ème Congrès International de Spéléologie, 1, section 1, 167-175).
45. DUBOIS (P.), 1962.- Deux expériences de coloration à la bordure méridionale des Cévennes ; coloration du réseau souterrain du Lez (Hérault). (Spelunca Mémoires, n° 2, 41-47).
46. DUBOIS (P.), 1964.- La circulation souterraine dans les calcaires de la région de Montpellier (Bibliographie). (Bull. Bur. Rech. Géol. Min. N° 2, 1-33).
47. DUBOIS (P.), 1965.- Sur la répartition des eaux souterraines karstiques entre trois cours d'eau du Bas-Languedoc : Le Vidourle, l'Hérault et le Lez. (Ann. Spél. XX, Fasc. 1, 5-14).
48. DU CAILAR (J.) et coll., 1953.- La grotte du Sergent (St-Guilhem-le-Désert, Hérault). (1er Congrès International Spéléologie Paris, II, 113-122).
49. DUGAS (M.), 1927.- Observations sur les Hépatiques des environs de Montpellier. (Bull. Soc. Bot. Fr., 76 (5<sup>e</sup> sér. t. III), 107-112).
50. DUGES, 1828.- Recherches sur l'organisation et les mœurs des Planariés. (Ann. Sc. Nat., 1<sup>e</sup> série, 15).
51. DUGES, 1830.- Aperçu de quelques observations nouvelles sur les Planaires et plusieurs genres voisins. (Ann. Sc. Nat., 1<sup>ère</sup> série, 21).

52. DYE (J.F.), 1944.- The calculation alcalinities and free carbon dioxyde in water by use of nomographs. (J. Amer. Water Works Assoc., 36, 895-900).
53. DYE (J.F.), 1952.- Calculation of effect of temperature on pH, free carbon dioxyde and the three forms of alcalinity. (J. Amer. Water Works. Assoc., 44, n° 4, 356-372).
54. EMBERGER (L.) et CHADEFAUD (M.), 1960.- Traité de Botanique. Systématique. Tome I : les végétaux non vasculaires (cryptogamie) (Masson et Cie Edit., 1016).
55. FABRE (J.H.), 1934.- Scène de la vie des Insectes. (NELSON édit. Paris, 286).
56. FARRUGIA (G.), 1958.- Contribution à la connaissance de l'origine, du métabolisme et des propriétés biologiques pour les Algues, des sels minéraux et composés organiques dissous dans les collections d'eaux naturelles stagnantes. (Hydrobiol., 16, n° 1, 80).
57. FRANQUIN (J.) et MARECAUX (P.), 1938.- Etude de l'équilibre  $\text{CO}_3\text{Ca} - \text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ . I- Théorie des eaux douces. (Chimie et Industrie: 18<sup>e</sup> Congrès Chimie Industrielle Nancy, 532<sub>c</sub>-547<sub>c</sub>).
58. FRANQUIN (J.) et MARECAUX (P.), 1938.- Etude de l'équilibre  $\text{CO}_3\text{Ca}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  : II- Cas général (eaux douces, eaux dures). (Chimie et Industrie : 18<sup>e</sup> Congrès Chimie Industrielle, Nancy, 102-110).
59. FUNAIOLI (M-L.), 1951.- Sul problema sistematico di Dugesia lugubris e D. polychroa (O. Schmidt). (Atti Soc. Toscana Sc. Nat., Ser. B, V. 58).
60. FURON (R.), 1950.- Les grandes lignes de la Paléogéographie de la Méditerranée (tertiaire et quaternaire). (Vie et Milieu : 1, (2), 131-162).

61. GALZI (A.), 1959.- Population algale de la Source du Lez. (D.E.S. Montpellier, 56).
62. GENEVOIS (L.), 1924.- Recherches sur la symbiose entre Zoochlorelles et Turbellariés rhabdocelles. (Thèse Fac. Sc. Paris, n° 249).
63. GIGNOUX (M.), 1950.- Géologie stratigraphique. (Masson édit.).
64. GOUDOT (A.) et BERTRAND (D.), 1962.- Les Oligo éléments. (Presses Univ. Fr., 128).
65. GOUSSEF (G.), 1946.- Les facteurs chimiques en limnologie et en pisciculture. (Bull. Soc. Nat. Accl., 93<sup>e</sup> année, n° 1, 19-31).
66. GOUSSEF (G.), 1952.- L'acide carbonique en limnologie, son importance biologique, ses méthodes de dosage. (Vie et Milieu, 3, n° 2, 113-135).
67. HAUSER (J.), 1953.- Zur Rheophilie von Planaria alpina. (Zool. Anz. V. 151).
68. HALLEZ (P.), 1879.-Contributions à l'histoire naturelle des Turbellariés. (Thèse Lille).
69. HALLEZ (P.), 1890.- Catalogue des Turbellariés (Rhabdocoelidés, Tricladés et Polyclades) du Nord de la France et de la côte boulonnaise. (Rev. Biol. Nord de la Fr., II, 77-100).
70. HALLEZ (P.), 1892.- Morphogenèse générale et affinités des Turbellariés. (Trav. Mem. Fac. Lille, II, Mem. 9).
71. HAMBURGER (J.), RICHER (G.) et CROSNIER (J.), 1954.- Techniques de réanimation médicale et de contrôle de l'équilibre humoral en médecine d'urgence. (Flammarion édit. Paris, 360).
72. HIRTZ (G.) et PIOGET (R.), 1937.- Rapport sur les dosages et essais effectués sur l'eau de Bischwiller (Bas-Rhin). (Ann. Direct. Eaux et Génie rural, 66, 97-217).

73. HOPKINS (E.F.) et WANN (F.B.), 1926.- Relation of hydrogen-ion concentration to growth of chlorella and to the availability of iron. (Bot. Gazette, 81, 353-376).
74. HUBAULT (E.), 1927.- Contribution à l'étude des Invertébrés torrenticoles. (Bull. Biol. Fr. Belg., suppl. IX, 388).
75. HUBLE (J.) et GREMBERGEN (G.), 1949.- Contribution expérimentale à la biochimie de la respiration chez les Turbellariés. (Enzymologia, 13, 268-275).
76. HYMAN (L.H.), 1951.- The invertebrates : Platyhelminthes and Rhynchozoela (V.II, Mac GRAW-HILL Book Co. Inc.).
77. ITO (T.), 1952.- Studies on the reproduction of Hydras. II.Relations between the occurrence of sexual maturity and several of the environmental factors except temperature. (Mem. Ehime Univ. Matsuyama, Japan, I, n° 3, 212-220).
78. JACOBSEN (J.P.), ROBINSON (R.J.) et THOMPSEN (T.G.), 1950.- A review of the determination of dissolved oxygen in sea water by the Winkler method. (Assoc. oceanogr. Physique, Publ. Scientif. 11, 5-22).
79. JARRY (D.), 1959.- Note préliminaire sur les hirudinées de la Source du Lez. (Vie et Milieu, 10, fasc. 3, 267-279).
80. JARRY (D.), 1959.- La place des hirudinées dans quelques biocenoses dulçaquicoles de la région de Montpellier. (Vie et Milieu, X, fasc. 2, 147-159).
81. JENNINGS (J.B.), 1957.- Studies on feeding, digestion and food storage in free-living flatworms (Platyhelminthes : Turbellaria). (Biol. Bull., 112, 61-80).

82. JONES (L.H.) ; SHIVE (J.W.), 1923.- Influence of Ammonium sulphate on plant growth in nutrient solution and its effect on hydrogen ion concentration and iron availability. (Ann. of Bot., 37, 355).
83. KLUYVER (A.J.), 1939.- Die Kohlensaure im Stoffwechsel der Lebewesen. (Suomen Kemistilehti A. 5-6, 81-88).
84. KOBLENC-MISHKE (O.I.), 1955.- Sur les besoins de certaines Algues de la Mer Noire en éléments nutritifs minéraux. (Trudy Inst. Okeanol. S. S. S. R., 13, 89-93).
85. KOK (B.), 1949.- A critical consideration of the quantum yield of chlorella photosynthesis. (Enzymologia 13, 1-56).
86. KUFFERATH (H.), 1929.- La culture des Algues (Rev. Algol., IV, n° 1-4, 127-346).
87. LAFON (C.), 1962.- Recherches sur l'écologie, la répartition et la variation chez Theodoxia fluviatilis Linné. (D. E. S. Montpellier).
88. LAFON (C.) et ALAUSE (P.), 1963.- Recherches sur les Theodoxus fluviatilis L. (Gastéropodes, Prosobranches) du Bas-Languedoc : écologie et variations morphologiques. (Vie et Milieu, 14, fasc. 1, 143-148).
89. LAMEERE (A.), 1895.- Manuel de la faune de Belgique. (Tome I : Animaux non Insectes, Bruxelles, Lamertin édit.).
90. LANGERON (M.), 1949.- Précis de Microscopie. (Masson et Cie édit. Paris).
91. LEDOYER (M.), 1962.- Etude de la faune vagile des herbiers superficiels de Zosteracées et de quelques biotopes d'Algues littorales. (Rec. Trav. St. Mar. Endoume, 25, fasc. 39, 117-235).
92. LABORIT (H.), 1966.- De la prophylaxie à la thérapeutique du choc dit "irréversible". Presse Médicale, 1966, 74/41, 2079-2083. (voir aussi du même auteur : Agressologie, 1966, 7/4 et 5).

93. LEDOYER (M.), 1961.- Relation entre l'accroissement nocturne massif de la faune vagile et les variations de la teneur en gaz dissous dans les herbiers de Posidonies superficiels. (C.R. Acad. Sc. Fr., 252, n° 26, 4207-8).
94. LEFEVRE (M.), 1940.- Signification et valeur du pH en hydrobiologie. (Bull. Soc. d'Aquic. pêche, 47, 50-55).
95. LEGENDRE (R.), 1925.- La concentration en ions hydrogène de l'eau de mer, le pH ; (Presses Univ. Paris).
96. LELOUP (E.), 1944.- Recherches sur les Triclades dulcicoles épigées de la Forêt de Soignes. (Mem. Mus. R. hist. Nat. Belg., n° 102, 1-112).
97. LELOUP (E.), 1952.- Répartition des Planaires Triclades dans les ruisselets d'une frênaie à Carex de la Forêt de Soignes. (Mém. Inst. R. Sc. Nat. Belg., n° 122, 159-170).
98. LENDER (TH.), 1951.- Récolte de Planaires aux environs de Strasbourg. Découverte d'une planaire américaine Dugesia (Euplanaria) tigrina (Girard). (Bull. Ass. Philom. Alsace Lorraine, IX, fasc. 2, 51).
99. LENDER (TH.), 1956.- Inhibition de la régénération du cerveau des Planaires Polycelis nigra (Ehrb.) et Dugesia lugubris (O. Schmidt) en présence de broyats de tête ou de queue. (Bull. Soc. Zool., 81, 192-199).
100. LENDER (T.) et GABRIEL (A.), 1961.- Le comportement des Néoblastes pendant la régénération de la Planaire Dugesia lugubris (Turbellariée, Triclade). (Bull. Soc. Zool. Fr., 86, n° 1, 67-72).
101. LENHOFF (H.M.) et LOOMIS (W.F.), 1957.- Environmental factors controlling respiration in hydra. (J. Exp. Zool. U. S. A., 134, n° 1, 171-181).

102. LOBETTI-BODONI (L.), 1918.- Influenza della stagione, della temperatura, della nutrizione sulla moltiplicazione per scissione spontanea della Planaria subtentaculata Drap. (Boll. Mus. Zool. Anat. Comp. Univ. Torino, 33, 729, 1-6).
103. LOOMIS (W.F.) et LENHOFF (H.M.), 1956.- Growth and sexual differentiation of Hydra in mass culture. (J. exp. Zool. U.S.A., 132, n° 3, 555-574).
104. LOOMIS (W.F.), 1958.- Direct method of determining carbon dioxide Tension. (Analytical Chemistry, 30, n° 11, 1865-1868).
105. LOOMIS (W.F.), 1959.- Control of sexual differentiation in Hydra by p CO<sub>2</sub>. (Ann. New York Acad. Sc., 77, 2, 73-86).
106. LOOMIS (W.F.), 1959.- Feedback control of growth and differentiation by carbon dioxide tension and related metabolic variables. (Cell, Organism and Milieu, 253-294).
107. LØVTRUP (E.), 1953.- Studies on planarian respiration. (J. Exp. Zool., 124, 427-434).
108. MAISONNET (J.), 1948.- Petite chirurgie. (DOUIN édit. Paris, 1048).
109. MARLIER (G.), 1951.- La biologie d'un ruisseau de plaine. (Inst. Roy. Sc. Nat. Belg., Mém. 114, 1-98).
110. MARRES (P.) et coll., 1953.- St-Guilhem-le-Désert : le milieu et l'homme. (Impr. Artières et Maury, Millau, 56).
111. MARTINET (B.), 1958.- Notes du service de Géologie et de prospection minière de Dakar : Analyse des eaux. (Edit. Haut Commissariat Rép. A. O. F.).
112. MERKER (E.), 1939.- Der Einfluss des Elektrolytgehabtes im Wohnwasser auf Wassertiere bei hoher temperatur. (Naturwiss., 27, 786-787).

113. MELET (R.), 1955.- Etude chimique et microbiologique des eaux d'alimentation de Segré. Rapport entre les taux d'acide carbonique, de fer, et la flore ferrugineuse. (Thèse Strasbourg).
114. METEOROLOGIE (Office National de).- Résumé mensuel du Temps en France (septembre 1960 à mars 1964). (196, rue Université, Paris, 7ème).
115. MINAS (H.), 1961.- Etude comparée de quelques facteurs physico-chimiques des eaux portuaires et des eaux du Golfe de Marseille. (Rec. trav. Stat. Mar. Endoumè, fasc. 34, n° 21, 5-58).
116. MORET (L.), 1958.- Précis de géologie (Masson édit. 676).
117. NGUON DHARA, 1963.- Reproduction sexuée et asexuée chez les Planaires du groupe Dugesia gonocephala - subtentaculata (Dugès - Draparnaud) dans le département de l'Hérault. Le facteur CO<sub>2</sub> libre dissous dans les eaux. (D. E. S. Montpellier).
118. NICOLAU (P.), et GUILLAUMET, 1959.- Recherches faunistiques et écologiques sur la rivière "La Massane". (Vie et Milieu, X (3), 224-266).
119. Norme Française AFNOR, 1950.- Essais des eaux : dosage de la Silice. (Assoc. Fr. Normalisation NF = T.90-007, 4 p.).
120. Norme Française AFNOR, 1953.- Essais des eaux : dosage de l'acide carbonique. (Assoc. Fr. Normalisation NF = T.90-011, 6 p.).
121. Norme Française AFNOR, 1958.- Essais des eaux ; mesure électrométrique du pH avec l'électrode de verre. (Assoc. Fr. Normalisation NF = T.90-008, 4 p.).
122. Norme Française AFNOR, 1958.- Essais des eaux : mesure de la dureté au réactif complexant. (Assoc. Fr. Normalisation NF = T.90-003, 3 p.).

123. Norme Française AFNOR, 1959.- Essais des eaux : dosage colorimétrique du fer. (Assoc. Fr. Normalisation NF = T.90-017).
124. ÖSTERLIND (S.), 1950 a.- Inorganic carbon sources of green Algae.  
I.- Growth experiments with Scenedesmus quadricauda and Chlorella pyrenoidosa. (Physiol. Plantarum, 3 (4), 353-360).
125. ÖSTERLIND (S.), 1950 b.- Inorganic carbon sources of green Algae.  
II.- Carbonic anhydrase in Scenedesmus quadricauda and Chlorella pyrenoidosa. (Physiol. Plantarum, 3 (4), 430-434).
126. OKUGAWA (K.I.) et KAWAKATSU (M.), 1953.- Studies on the fission of Japanese freshwater planaria Dugesia gonocephala (D.) (Bull. Kyoto Gakugei Univ. B, I-VI, n° 4, 5, 8, 10).
127. OKUGAWA (K.I.) et KAWATSU (M.), 1955-58.- Studies on the vertical distribution of Japanese freshwater planarians. (Bull. Kyoto Gakugei Univ. B, I-VI, n° 7, 8, 9, 12, 13).
128. OKUGAWA (K.I.), 1957.- An experimental study of sexual induction in the asexual form of Japanese freshwater Planarian Dugesia gonocephala (D.). (Bull. Kyoto Gakugei Univ. B, n° 11, 8-27).
129. PACAUD (A.), 1939.- Contribution à l'écologie des Cladocères. (Suppl. XXV, Bull. Biol. Fr., Belg.).
130. PERRUGIA (A.-M. del), 1957.- Recherches expérimentales sur la biologie et la régénération chez Dugesia tigrina Girard, Dugesia gonocephala Dugès var. subtentaculata (Draparnaud) et Dendrocoelum lacteum (O.F. Müller). (D. E. S. MONTPELLIER).
131. PIERRE-BOURGEOIS, 1957.- Maladies de l'appareil respiratoire. (Edit. Médicales Flammarion, Paris - CMC, 1626 p.).
132. POCIDALO (J.J.) et BLAYO (M.C.), 1964.- Méthodes classiques et modernes de détermination de l'équilibre acido-basique. (Revue du Praticien, 14, 7 bis, 905-916).

133. POLICARD (A.), BESSIS (M.) et LOCQUIN (M.), 1957.- Traité de Microscopie. (Masson et Cie, édit.).
134. POLONOVSKI (M.), 1947.- Biochimie médicale. (Masson édit.).
135. PONS (A.) et ROUANET (L.), 1929.- Les sources superficielles du département de l'Hérault. (Congrès de l'eau, Montpellier, mai 1929).
136. RAFFY (A.), 1933.- Recherches sur le métabolisme respiratoire des Poïkilothermes aquatiques. (Thèses Paris, 141 p.).
137. REMY (P.), 1925.- Contribution à l'étude de l'appareil respiratoire et de la respiration chez quelques invertébrés. (Thèse Nancy, 222 p.).
138. REMY-PERRIER, DELPHY (J.), 1935.- Faune de la France en tableaux synoptiques illustrés. Tome IB - Vers et Nematelminthes. (DELAGRAVE).
139. RIVOLIER (R.), 1961.- Pathologie de l'altitude. (Encyclopédie Médico-chirurgicale, Maladies par Agents Physiques, 16 506 A.10, 8 p.).
140. RODIER (J.), 1959.- Analyse chimique et physico-chimique de l'eau. (DUNOD, édit.).
141. ROQUES (H.), 1964.- Contribution à l'étude statique et cinétique des systèmes gaz carbonique - eau - carbonate. (Annales de Spéléologie, XIX, 2, 255-484).
142. RUTTNER (F.), 1947.- Zur frage der Karbonatassimilation der Wasserpflanzen. Eine vergleichende Untersuchung. I.- Die beiden Haupttypen der Kohlenstoffaufnahme. (Österr. Bot. Zeitsch., 94, 265-294).
143. RUTTNER (F.), 1948.- Zur frage der Karbonatassimilation der Wasserpflanzen. II.- Das Verhalten von Elodea canadensis und Fontinalis antipyretica in Lösungen von Natrium bzw. Kaliumbikarbonat. (Osterr. Bot. Zeitschr., 95).

144. SADOUL (P.) et SAUNIER (C.), 1964.- Acidoses et alcaloses ventilatoires (Rev. Praticien, 14, 7 bis, 853-866).
145. SALVAYRE (H.), 1962.- Essai sur l'hydrogéologie de la zone Sud du Causse du Larzac et de son avant-Causse. (Ann. Spéleo., XVII, fasc. 3, 1962, 469-490).
146. SARUHASHI (K.), 1955.- Etude sur les transformations dans les eaux naturelles. Sur le rapport de la concentration à l'équilibre des substances dérivées de l'acide carbonique dissoutes dans les eaux naturelles. (J. Chem. Soc. Japan, Pure Chem. Sec., 76, n° 3, 1294-1308).
147. SCHLIEPER (C.), 1951.- Über die Temperatur-Stoffwechselrelation einiger eurythermer Wassertiere. (Verh. D. Zool. Ges., 267-272).
148. SCHLIEPER (C.), BLÄSING (J.) et HALSBAND (E.), 1952.- Experimentelle Veränderungen der Temperatur-toleranz bei stenothermen und eurythermen Wassertieren. (Zool. Anz., 149, 163-169).
149. SCHMITT (C.), 1955.- Contribution à l'étude du système chaux-carbonate de calcium - bicarbonate de calcium - acide carbonique - eau. (Thèse Fac. Sciences Rennes, 152 p.).
150. SCHMITT (E.), 1955.- Über das Verhalten von Süßwasserplanarien (Pl. gonocephala Dugesii und Pl. lugubris O. Schmidt in brackwasser). (Kiel Meeresfors. 11, n° 1, 48-58).
151. SCHOELLER (H.), 1955.- La solubilité du fer dans les eaux souterraines. (Ann. Inst. Hydrol. et Climat., 26, (1), 1-37).
152. SCHOELLER (H.), 1959.- Hydrogéologie des régions arides : progrès récents (UNESCO édit. 126).
153. SCHWARTZ (E.), 1952.- Le rhéotropisme de Planaria lugubris O. Schmidt (C. R. Soc. Biol., 146, 768-771).
154. SOURIE (R.), 1962.- L'évolution du système acide carbonique, bicarbonate de calcium et l'amélioration de certaines eaux de pisciculture. (Vie et Milieu, XIII, fasc. 2, 333-340).

155. STEEMANN-NIELSEN (E.), 1947.- Photosynthesis of aquatic plants with special references to the carbon sources (Dansk. Bot. Ark. 12).
156. SYMOENS (J.J.), 1957.- Les eaux douces de l'Ardenne et des régions voisines : les milieux et leur végétation algale. (Bull. Soc. Roy. Bot. Belge, 89, n° 6, 111-314).
157. TINTANT (H.), MAINGUY et GOTTIS, 1946.- Lacunes dans le callovien et l'oxfordien au sud des Cévennes. (C. R. Acad. Sc., 223, 814).
158. TROMBE (F.), 1953.- Aspect général de la physique et de la chimie souterraines. (1<sup>er</sup> Congrès Intern. Spéléol. Paris, II, 293-300).
159. TUZET (O.) et PERRUGIA (A.M. Del), 1957.- Présence de la Planaire Américaine Dugesia (Euplanaria) tigrina Girard aux environs de Montpellier. (Vie et Milieu, VIII, fasc. 1, 72-75).
160. USPENSKI (E.), 1927.- Eisen als faktor für die Verbreitung niederer Wasserpflanzen. (Pflanzenforsch., 9, 104 p.).
161. VANDEL (A.), 1919.- Sur le mode de vie de deux Planaires (Polycelis cornuta Johnson et Planaria alpina D.) aux environs de Paris, et sur la constitution de la faune des ruisseaux de la même région. (Bull. Soc. Zool. Fr., 44, 188-195).
162. VANDEL (A.), 1919.- Contribution à la connaissance de la faune des eaux douces du Jura. I. (Bull. Soc. Zool. Fr., 44, 80-94).
163. VANDEL (A.), 1920.- Contribution à la connaissance de la faune des eaux douces du Jura. II. Les sources et le fond des lacs. (Bull. Soc. Zool. Fr., 45, 44-57).
164. VANDEL (A.), 1921.- Recherches expérimentales sur les modes de reproduction des Planaires Tricladés paludicoles. (Bull. Biol. Fr. Belg., 55, 343-518).
165. VANDEL (A.), 1921.- Notes biologiques sur les Planaires des environs de Montpellier. (Bull. Biol., 55, 239-259).

166. VANDEL (A.), 1922.- Sur la faune des eaux douces des Pyrénées Orientales. (Bull. Soc. Zool. Fr., 47, 163-170).
167. VANDEL (A.), 1925.- Planaria subtentaculata n'est qu'une race asexuée de Planaria. (Bull. Biol., 59, 498-505).
168. VANDEL (A.), 1928.- Les planaires de montagne et l'origine de leur distribution (dans le peuplement des hautes montagnes). Mém. Soc. Biogéogr., 2, 74-80).
169. VAN OYE (P.), 1935.- Sur la distribution de Planaria alpina, Pl. gonocéphala et Polycelis cornuta dans le jurassique belge. (Ann. Soc. Zool. Belg., 66, 119-122).
170. VAN OYE (P.), 1939.- District de la Belgique d'après le pH. (Bull. Soc. Bot. Belg., 71, fasc. 2, 164-168).
171. VAN OYE (P.), 1940.- Die Bedeutung des pH des Süßwassers als biogeographischer Faktor. (Verh. int. Ver. Limnol., 9, 293).
172. VAN OYE (E.L.), 1941.- Verbreitung und Oekologie der Paludicolen Tricladen in Belgien. (Arch. Hydrobiol., 38, (1), 110-147).
173. VIALET (G.), 1936.- Les crues du Lez (Bull. Soc. Languedoc. Géogr., 27, fasc. 4).
174. VIVIERS (P.), 1961.- La vie dans les eaux douces. (Presses univ. Fr. Paris).
175. WALSHE-MAETZ (B.M.), 1956.- Contrôle respiratoire et métabolisme chez les Crustacés. (Vie et Milieu, VII, fasc. 4, 523-543).
176. WAUTIER (J.), 1952.- Introduction à l'étude des biocénoses. (Impr. Ferréol, Lyon).
177. WISZNIEWSKI (J.), 1947.- Remarques relatives aux recherches récentes sur le Psammon d'eau douce. (Arch. Hydrobiol. Rybactwa, 13, 7-36).
178. WAELSCH E.M. (1965) - Fixation du gaz carbonique dans le système nerveux - (Actualités Neurophysiologiques, sixième série pp. 29-42 - 1 vol Masson, Paris).

179. WOIGT (W.), 1904.- Ueber die Wanderungen der Strüdelwürmer in unseren Gebirgsbächen. (Verh. Naturh. Ver. Reinhl., 61, 103).
180. WOLF (E.), et LENDER (T.), 1962.- Les néoblastes et le phénomène d'induction et d'inhibition dans la régénération des Planaires. (Ann. Biol., 4<sup>e</sup> sér., I, fasc. 9-10, 499-529).
181. YOURCENAR (M.), 1964.- Fleuve profond, sombre rivière. (Gallimard Edit., 254 p.).

PLANCHES ET TABLEAUX ANNEXES

---

Tabl. I : Résultats comparés de plusieurs méthodes  
pour la détermination de /CO<sub>2</sub>/

| L E Z (avec silice)              |       | Printemps : 14 JUN 61 |      |      |      | Été : 29 AUT 61 |      |      |       | Automne : 20 OCT 61                                                                                                                                                                          |      |      |      |
|----------------------------------|-------|-----------------------|------|------|------|-----------------|------|------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|
| Station et distance source en m. |       | H                     | A    | D    |      | H               | A    | D    |       | H                                                                                                                                                                                            | A    | P    |      |
| Source .....                     | 0     | 1,42                  | 1,54 | 1,45 | 1,54 |                 |      |      |       | 1,18                                                                                                                                                                                         | 1,29 | 1,25 | 1,32 |
| Pied barrage .....               | 25    |                       |      |      |      | 1,38            | 1,27 | 1,39 | 1,31  |                                                                                                                                                                                              |      |      |      |
| Pont canal .....                 | 350   | 0,78                  | 0,90 | 0,78 | 0,80 |                 |      |      |       |                                                                                                                                                                                              |      |      |      |
| Platanes .....                   | 700   | 0,55                  | 0,67 | 0,64 | 0,63 | 0,53            | 0,53 | 0,54 | 0,46  | 0,45                                                                                                                                                                                         | 0,56 | 0,55 | 0,55 |
| Grange des Pins .....            | 2,200 | 0,25                  | 0,37 | 0,47 | 0,45 |                 |      |      |       | 0,23                                                                                                                                                                                         | 0,34 | 0,42 | 0,42 |
| Moulin Neuf .....                | 2,600 | 0,15                  | 0,27 | 0,36 | 0,36 | 0,40            | 0,36 | 0,38 | 0,01  | 0,21                                                                                                                                                                                         | 0,33 | 0,36 | 0,35 |
| Pied de la route .....           | 3,200 | 0,18                  | 0,29 | 0,32 | 0,32 | 0,32            | 0,29 | 0,29 | -0,09 | 0,10                                                                                                                                                                                         | 0,21 | 0,30 | 0,29 |
| Pont de Montferrier .....        | 6,200 | 0,02                  | 0,12 | 0,26 | 0,24 |                 |      |      |       | 0,07                                                                                                                                                                                         | 0,18 | 0,32 | 0,30 |
| V E R D U S (sans silice)        |       | Hiver : 14 FEV 62     |      |      |      | Été : 29 AUT 61 |      |      |       | Résultats                                                                                                                                                                                    |      |      |      |
| Station et distance source en m. |       | H                     | A    | D    |      | H               | A    | D    |       | /CO <sub>2</sub> / en mé/1<br>(1 mé ≡ 22 mgr)                                                                                                                                                |      |      |      |
| Source .....                     | 0     | 0,65                  | 0,75 | 0,64 | 0,69 | 0,63            | 0,53 | 0,58 | 0,61  | Méthodes<br>Acidimétriques :<br>H : Hirtz<br>C : Correction<br>Rodier<br>A : Graphique<br>Alause<br>2/ Graphique :<br>D : abaque de Dye<br>3/ Volumétrique :<br>S : appareil de<br>Van Slyke |      |      |      |
| Yeuse .....                      | 80    | 0,30                  | 0,40 | 0,31 | 0,33 |                 |      |      |       |                                                                                                                                                                                              |      |      |      |
| Barrage .....                    | 150   | 0,22                  | 0,32 | 0,24 | 0,24 |                 |      |      |       |                                                                                                                                                                                              |      |      |      |
| Pied Barrage .....               | 152   | 0,20                  | 0,30 | 0,22 | 0,22 |                 |      |      |       |                                                                                                                                                                                              |      |      |      |
| Ecluse .....                     | 222   | 0,18                  | 0,28 | 0,19 | 0,20 |                 |      |      |       |                                                                                                                                                                                              |      |      |      |
| Pied bretelle .....              | 250   | 0,03                  | 0,13 | 0,14 | 0,15 |                 |      |      |       |                                                                                                                                                                                              |      |      |      |
| Gué des Laricios .....           | 360   | 0,00                  | 0,10 | 0,10 | 0,10 |                 |      |      |       |                                                                                                                                                                                              |      |      |      |
| Arbre mort .....                 | 460   | 0,00                  | 0,10 | 0,09 | 0,08 |                 |      |      |       |                                                                                                                                                                                              |      |      |      |

Tabl. II(a) : Relation entre Température et pH pour une eau naturelle.

(Nota : légère différence hydrochimique entre le 04.09  
et le 09.11.62).

Tabl. II(b) : Variation des droites étalons (TAC : 2,95) selon la  
température.

Tabl. III : Influence des faibles salinités.

- Eau de la fontaine du Four (St Guilhem-le-Désert, Hlt)  
de TAC : 4,40.
- Solution étalon de TAC = 2,95 - température = 14-15°.
- Homogénéisations :
  - I - (dpH<sub>I</sub>) avec 20 ml CO<sub>2</sub> donnant /CO<sub>2</sub>/final = 0,29
  - II - (dpH<sub>II</sub>) " 80 ml CO<sub>2</sub> " /CO<sub>2</sub>/ " = 0,83
  - III - (dpH<sub>III</sub>) " 20 ml
  - IV - (dpH<sub>IV</sub>) " 100 ml

Tabl. IV : Variation de /CO<sub>2</sub>/ au cours du stockage d'une eau  
"incrustante".

|                                                                         |                   |      |      |                   |      |      |      |      |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------------|------|------|-------------------|------|------|------|------|
| Fontaine du Four<br>/CO <sub>2</sub> / 0,55<br>/HCO <sub>3</sub> / 4,45 | Essai du 04.09.62 |      |      | Essai du 09.11.62 |      |      |      |      |
| Température(±1° C)                                                      | 5°                | 18°  | 30°  | 4°                | 8°   | 14°5 | 19°5 | 24°  |
| pH (± 0,01)                                                             | 7,60              | 7,50 | 7,40 | 7,63              | 7,58 | 7,52 | 7,49 | 7,47 |

Tabl.II-a

| MOYENNES ...                        | Tempé-<br>rature | pH pour<br>/CO <sub>2</sub> /=1,00 | pH pour<br>/CO <sub>2</sub> /=0,10 |
|-------------------------------------|------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Pour ... 5 droites étalons à 9°-14° | 12°              | 7,08                               | 8,11                               |
| ... 5 droites étalons à 17°-22°     | 18°5             | 7,05                               | 8,09-                              |
| Différence .....                    | + 6°5            | - 0,03                             | - 0,02+                            |

Tabl.II-b

| Essai du 2-3.10.63     |                                   |                  |                |                                   |                  |                   |                    |                   |
|------------------------|-----------------------------------|------------------|----------------|-----------------------------------|------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| Echan-<br>tillon<br>N° | Dilution<br>eau-mère<br># V% Sol. | TAC<br>(initial) | TAC<br>(final) | pH <sub>I</sub> -pH <sub>II</sub> | dpH <sub>I</sub> | dpH <sub>II</sub> | dpH <sub>III</sub> | dpH <sub>IV</sub> |
| 1                      | 100                               | 4,40             | 4,40           | 0,49                              | + 18             | + 18              |                    |                   |
| 2                      | 50                                | 2,25             | 2,25           | 0,49(+)                           | - 11             | - 11              | ...etc             | ... etc           |
| 3                      | 25                                | 1,15             | 1,15           | 0,50                              | - 42             | - 43              |                    |                   |
| 4                      | 12,5                              | 0,60             | 0,60           | 0,49                              | - 67             | - 67              |                    |                   |
| 5                      | 5                                 | 0,25             | 0,50           | 0,39                              | -111             | -101              | - 89               | - 81              |

Tabl. III

|                                                    |                |                     |                           |
|----------------------------------------------------|----------------|---------------------|---------------------------|
| Mesures pratiquées aussitôt après la ventilation : | 8,52           | 4,40                | 0,05 <sup>(+)</sup>       |
| ... après 2 jours                                  | 8,39           | 4,35                | 0,07                      |
| ... après 4 jours                                  | 8,32           | 4,30                | 0,08                      |
| Essai du 27.10.62                                  | pH<br>(14-15°) | TAC<br>(mé/l)       | CO <sub>2</sub><br>(mé/l) |
| Essai du 31.10.62                                  |                |                     |                           |
| Mesures pratiquées aussitôt après la ventilation : | 8,43           | 3,25                | 0,05 <sup>(-)</sup>       |
| ... après 7 heures                                 | 8,41           | 3,25                | 0,05                      |
| ... après 24 heures                                | 8,38           | 3,25 <sup>(-)</sup> | 0,05 <sup>(+)</sup>       |

Tabl.IV

Fig. V : Relations entre le TAC, le dpH et  $\text{CO}_2$ .

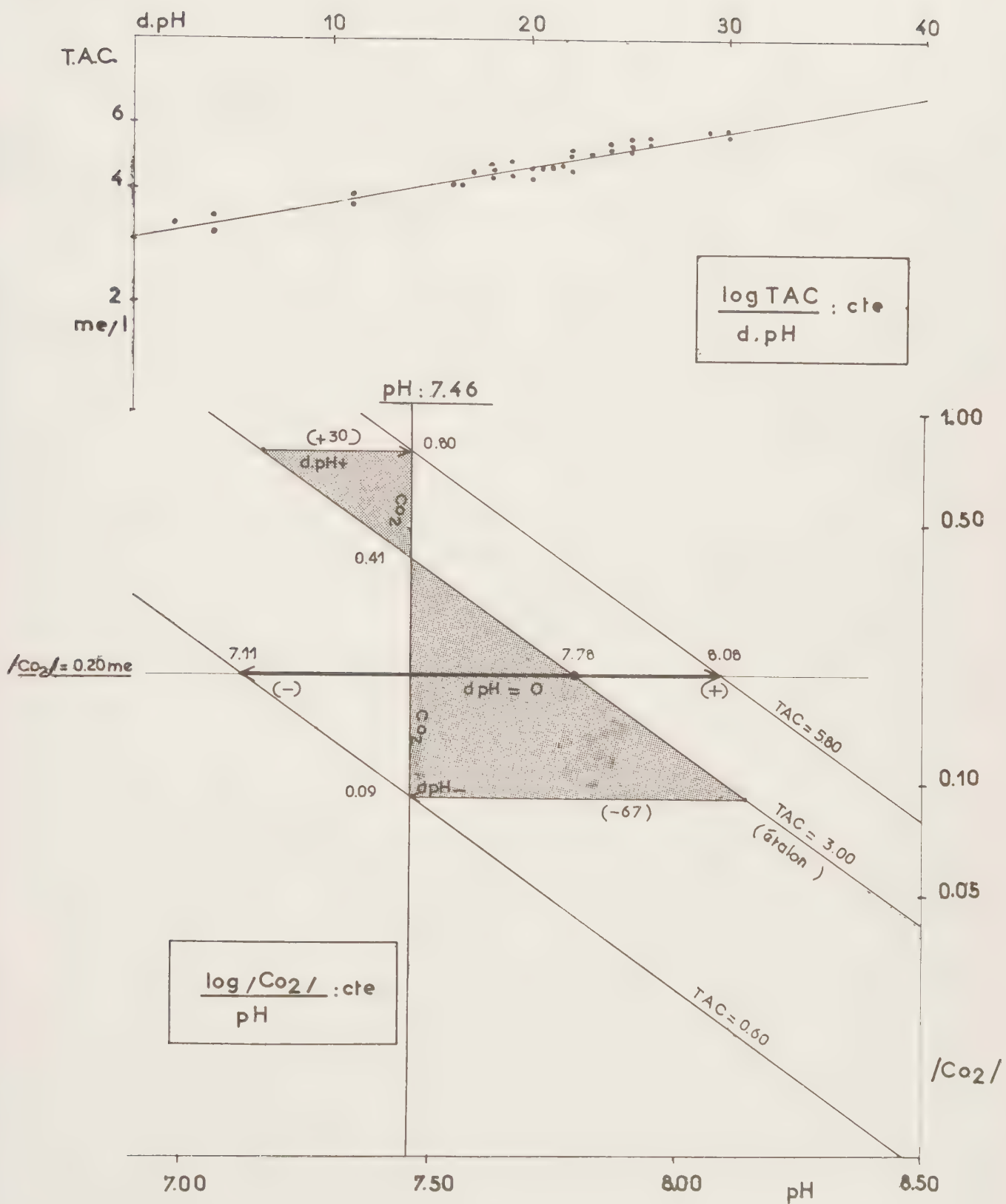


Fig. V

Fig. VI : Relation entre  $\sum \text{CO}_2$  d'une source à l'émergence  
et le climat de son bassin d'alimentation.

{  $T^{\circ}\text{C}$  : température moyenne (moyenne mensuelle)  
Pj : nombre de jours de pluie (total mensuel)  
Hmm : hauteur des précipitations (total mensuel)  
TAC : assimilable à  $\text{HCO}_3^-$  ; résultats des analyses  
pratiquées aux dates figurées.

\*

La variation effective de ces quatre variables est doublée à l'arrière plan de son "ombre schématique", destinée à mettre en lumière les traits généraux de l'évolution, ou à accuser les différences observées d'une année sur l'autre.

\*

(... d'après le "Résumé Mensuel du temps en France", publication de l'Office National de Météorologie : sept. 60 à mars 64 - Station MILLAU et MONT-AIGOUAL, groupe VI).

\*

(de SOLSTICE à EQUINOXE)

# VARIATION HYDROCHIMIQUE...

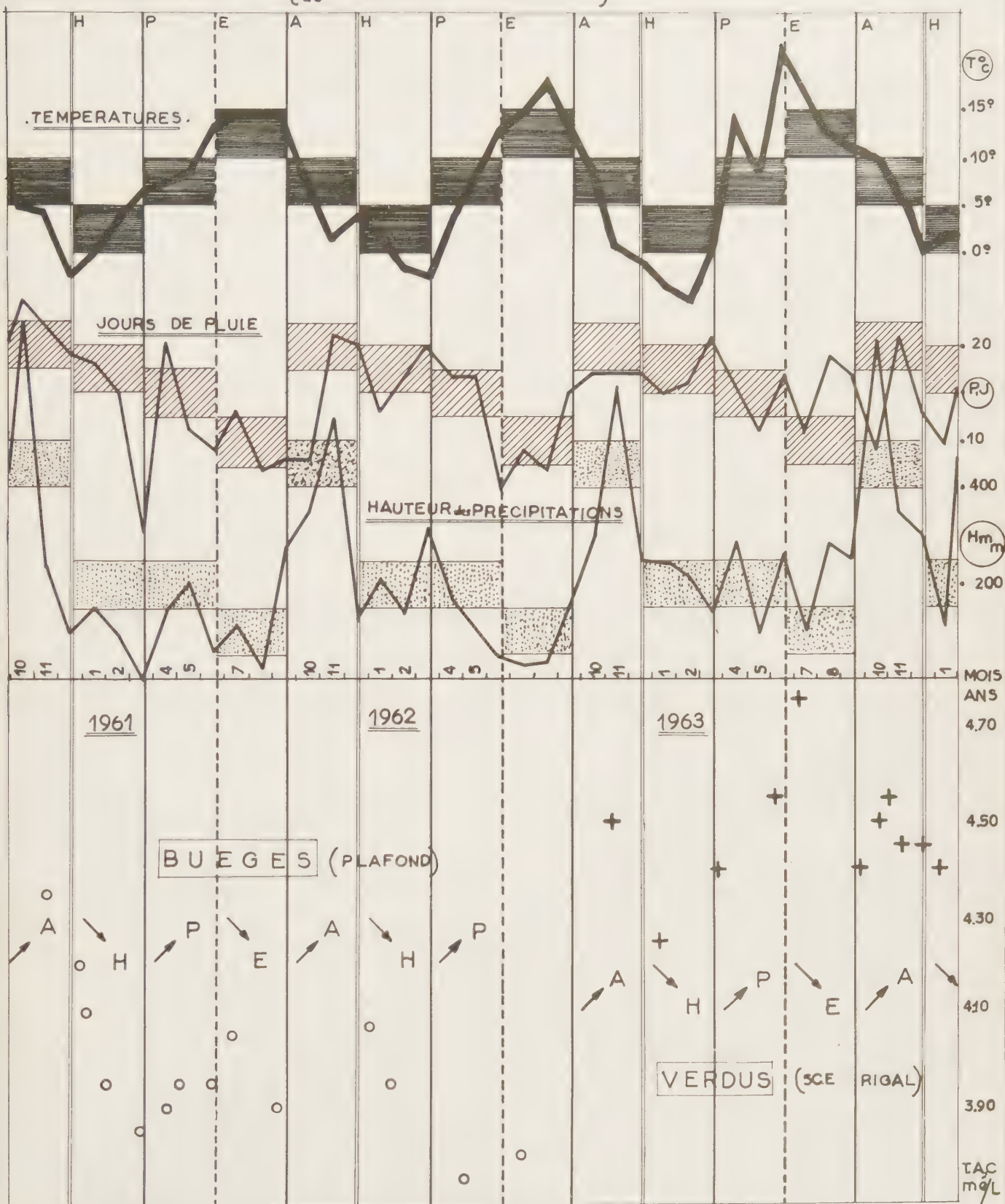


Fig. VI

Fig. VII : - a/ Diagramme de FRANQUIN et MARECAUX.  
- b/ Variation d'une eau naturelle.

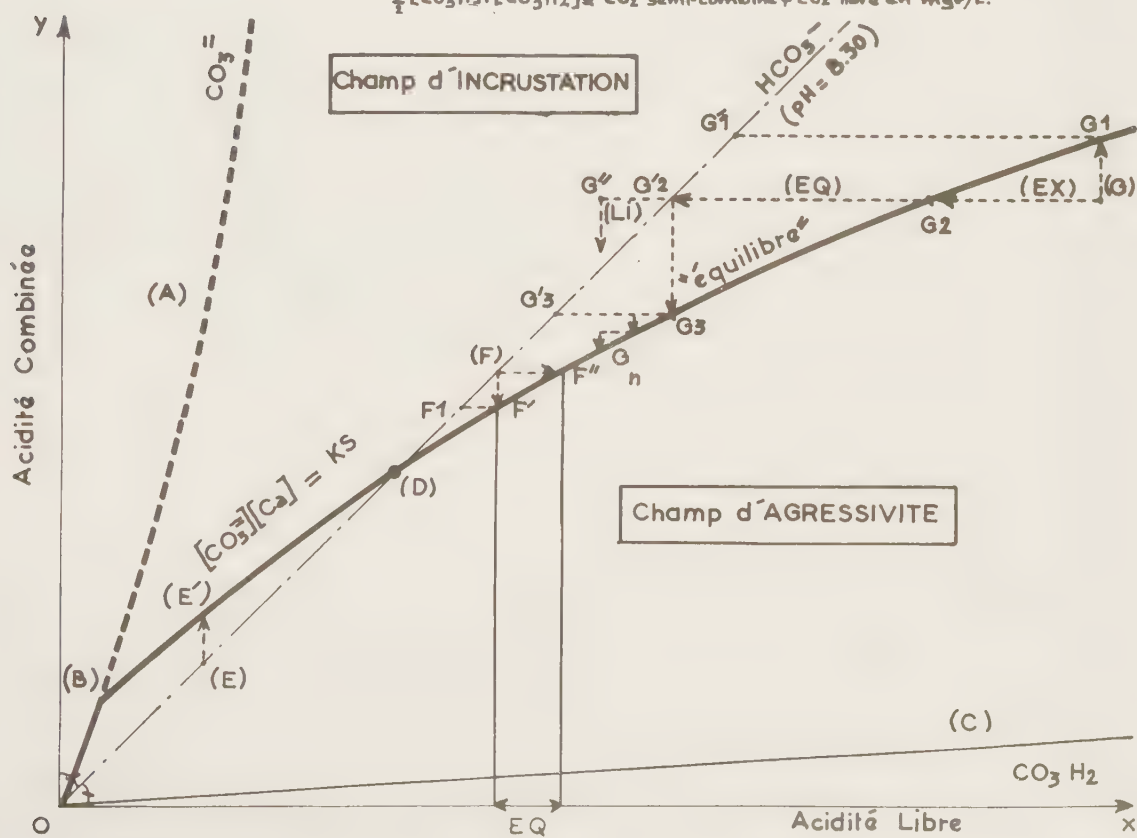
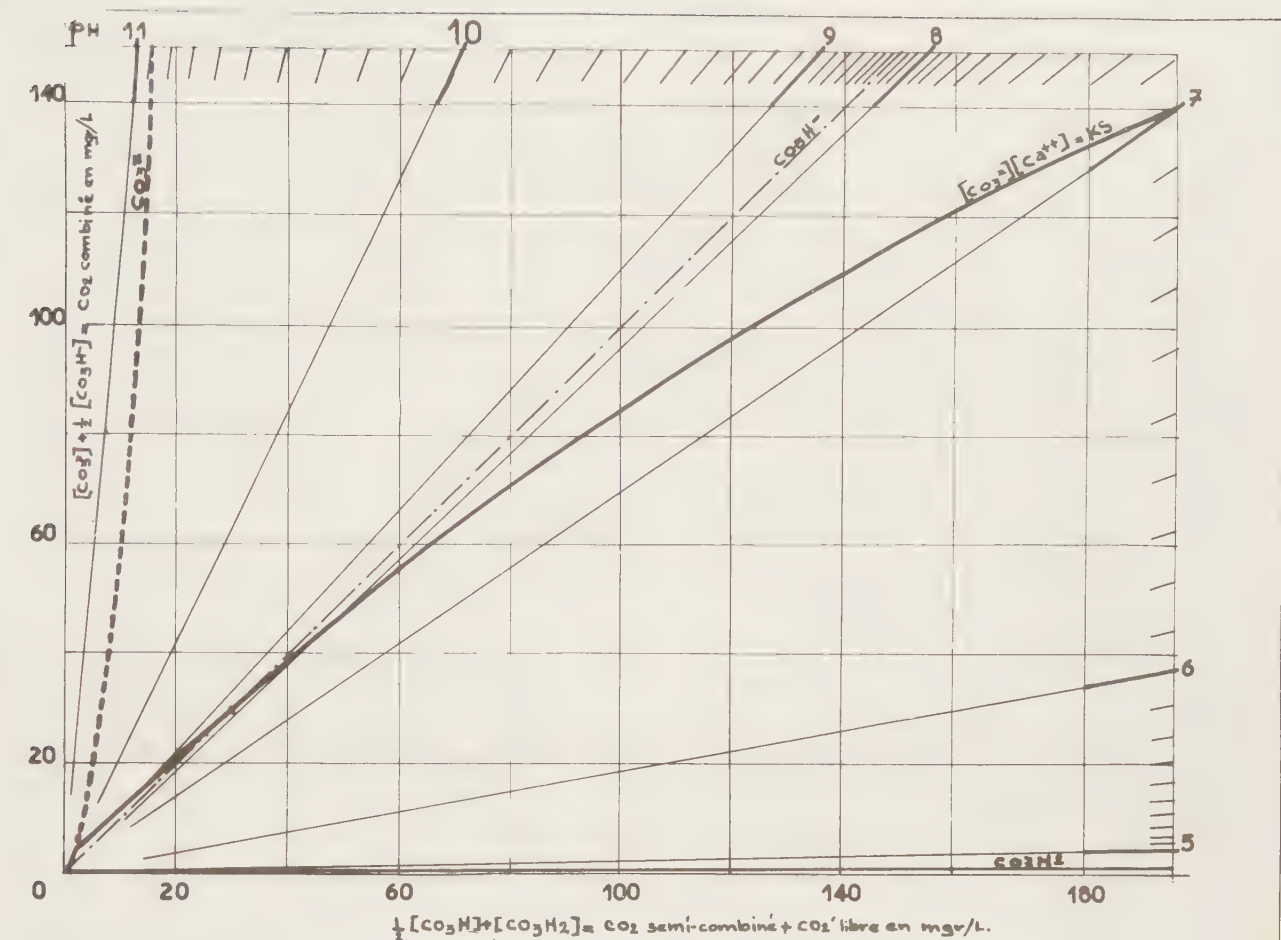


Fig. VII

Fig. VIII-a : teneurs en  $\langle \text{Fe}^{++} \rangle$  suivant l'alcalinité et le pH.  
avec  $\text{Eh} = 0$ .

Fig. VIII-b : teneurs en  $\langle \text{Fe}^{++} \rangle$  selon le potentiel Redox et le pH.  
pour une eau ayant  $\langle \text{HCO}_3^- \rangle = 10^{-2}$ .

(... d'après SCHOELLER, 1955 - les droites représentatives en trait interrompu ont été surajoutées).

\*

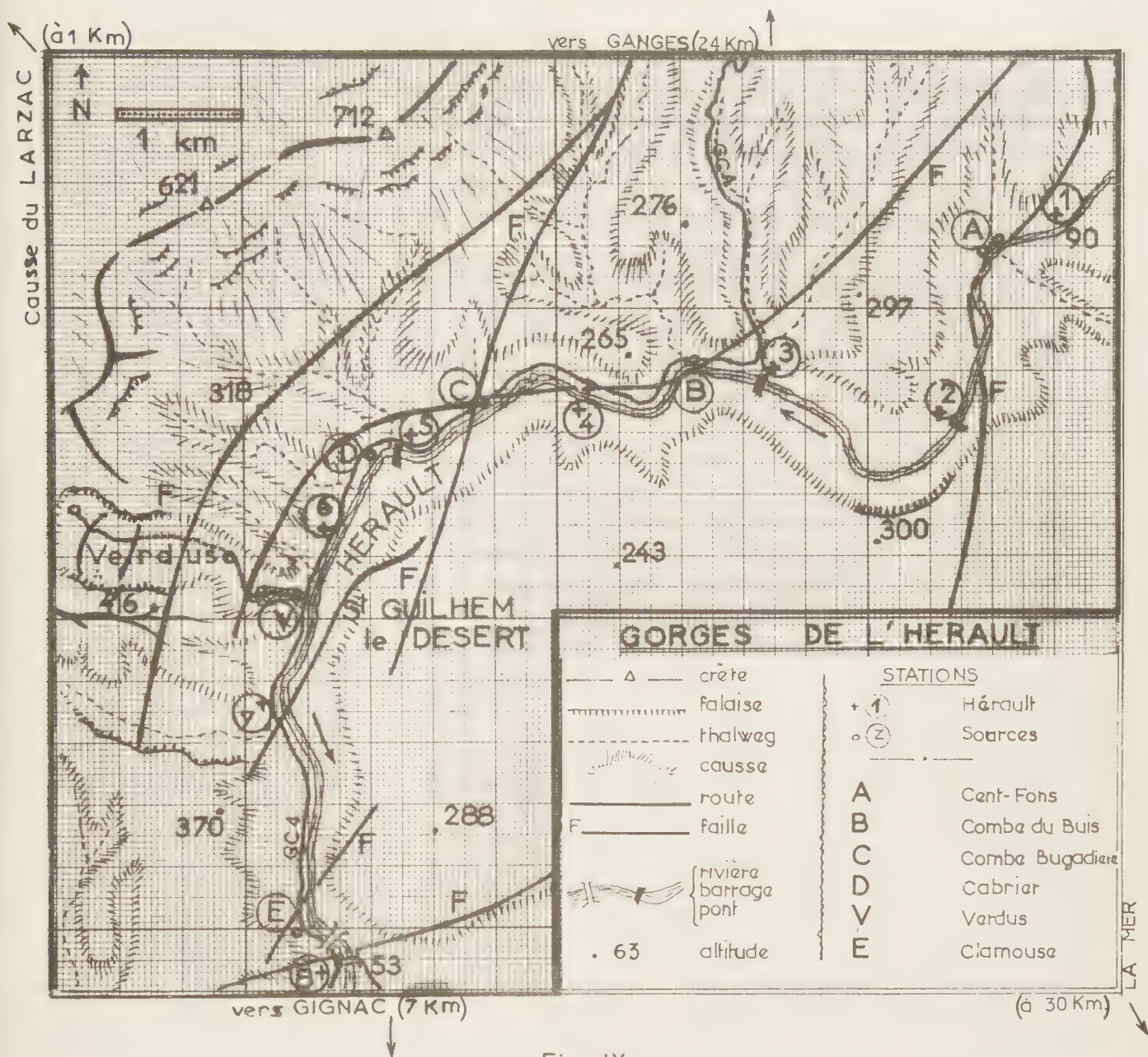


Fig. IX

Fig. X : Station VI de la Buèges : Hiver-été 1961

- Zonation ternaire hydro-pédologique du G. C.

... en I - eau agressive, lit décapé : ELUVION (de I à II bis)

... en II - eau voisine de l'équilibre, alternativement en deçà ou au-delà selon la saison, lit "encrassé" de colloïdes ferro-argileux : ILLUVION PRECALCAIRE (jusqu'à VII approximativement).

... en III - eau incrustante en permanence, lit "colmaté" avec dominance croissante du tuf, envahissant et presque exclusif au-delà de  $X_b$ -XI : ILLUVION CALCAIRE.

\*

- Situation du microbiotope à P. felina (VI) : relativement aux gradients thermique et carbonique de la rivière, et à la distribution des différentes espèces de Planaires.

\*

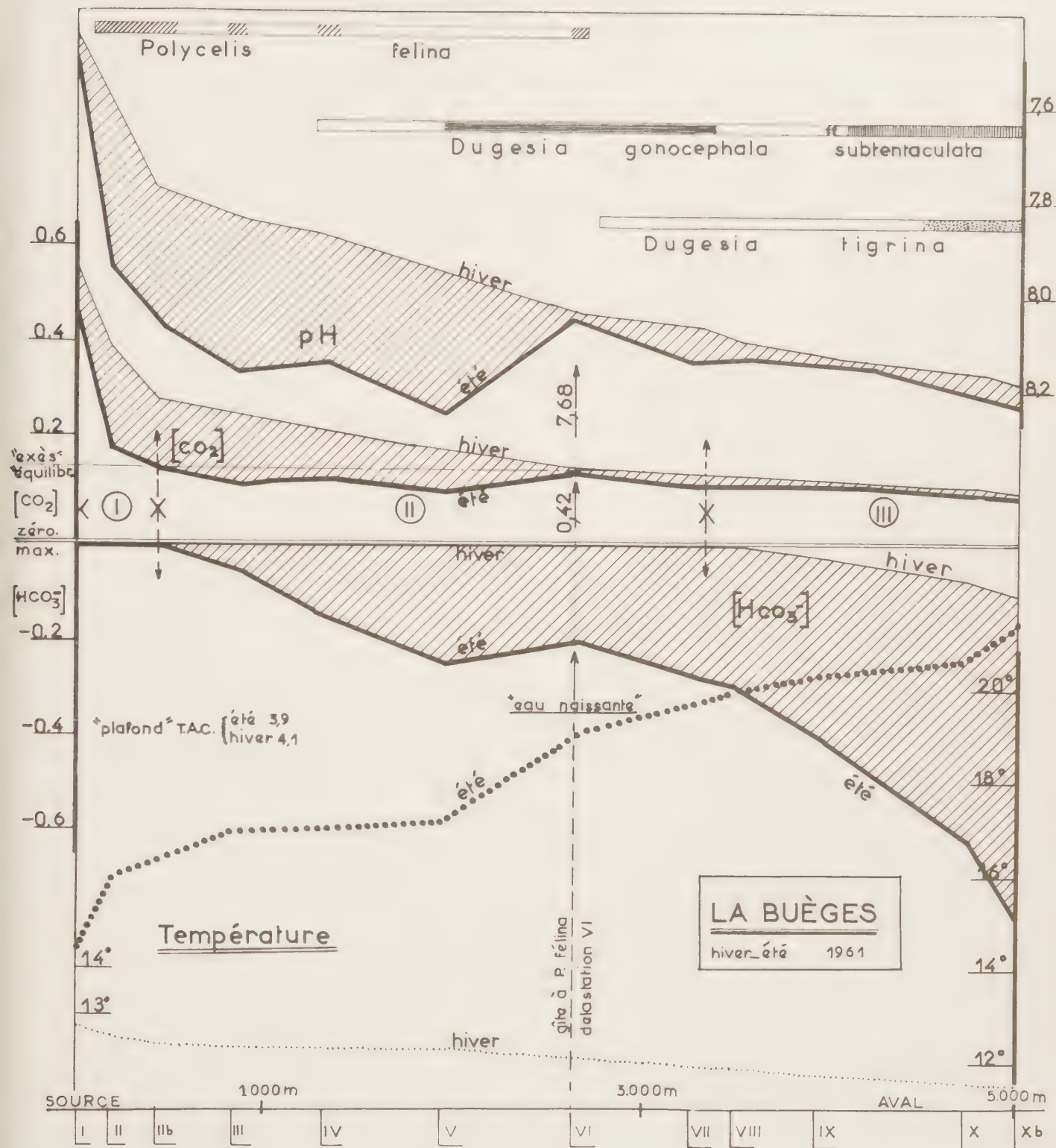


Fig. X









